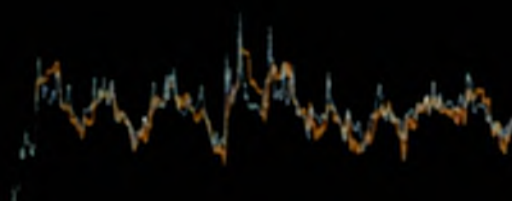
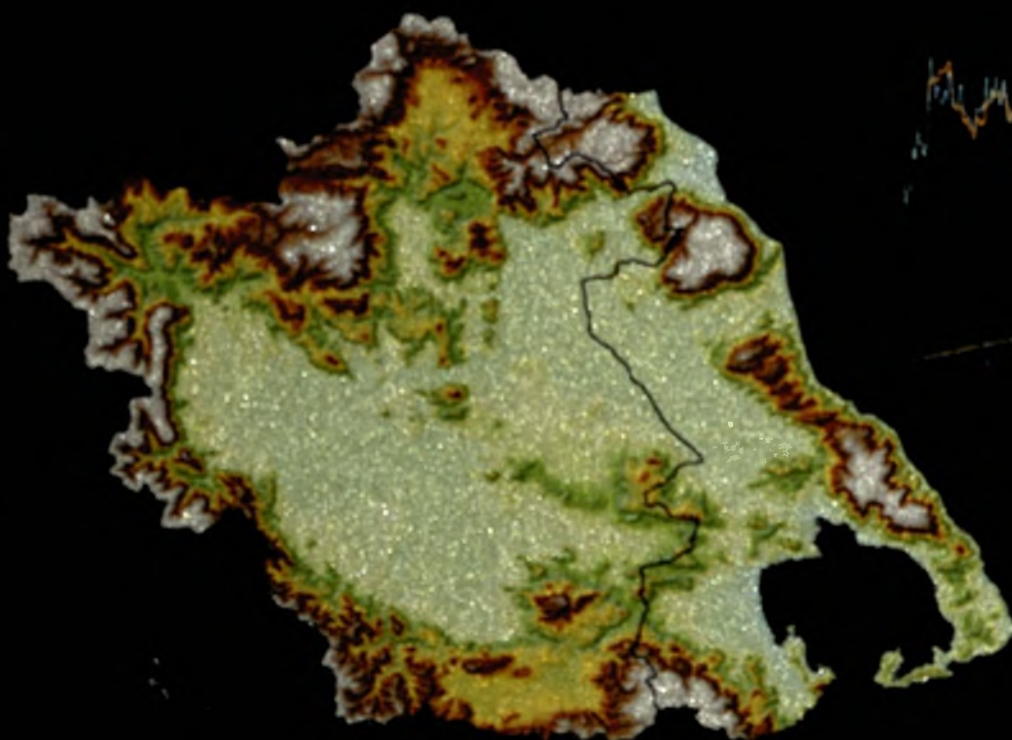




ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Διερεύνηση των σχέσεων μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας:

Εφαρμογή στη λεκάνη
απορροής του Πηνειού
Ποταμού σε επίπεδο
υπολεκάνης



SPI
PDSI
Runoff Index

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΛΥΜΠΕΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	6013/1
Ημερ. Εισ.:	12-11-2007
Δωρεά:	Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ - ΠΜ
	2007
	ΛΥΜ

Διερεύνηση των σχέσεων μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας:

Εφαρμογή στη λεκάνη
απορροής του Πηνειού
Ποταμού σε επίπεδο
υπολεκάνης

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΛΥΜΠΕΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ – ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

ΒΟΛΟΣ, 2007

Βόλος, 2007

Διερεύνηση των σχέσεων μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας:

Εφαρμογή στη λεκάνη
απορροής του Πηνειού
Ποταμού σε επίπεδο
υπολεκάνης

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΛΥΜΠΕΡΗΣ

ΔΙΔΑΣΚΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΛΟΥΚΑΣ

Μακέτα εξωφύλλου: Νικόλαος Δαλάκης

...στους γονείς μου

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το φαινόμενο της ξηρασίας άρχισε πρόσφατα να απασχολεί το ευρύ κοινό λόγω της λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην χώρα μας αλλά σε μεγάλο βαθμό και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Επειδή η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εντάσσεται στη γενικότερη διακύμανση του κλίματος μιας περιοχής, πολλά από τα μέτρα που αναγγέλλονται κατά την διάρκεια της ξηρασίας ξεχνιούνται μόλις έρθουν οι βροχές.

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διάφορες παραδοχές και ορισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η προσομοίωση του φαινομένου στο σύνολο του είναι ένα δύσκολο εγχείρημα. Σε γενικές γραμμές, η μελέτη του φαινομένου περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνοτήτων ελάχιστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας. Οι δείκτες αυτοί μπορεί να συσχετιστούν με διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η χρονική και χωρική σύγκριση των δεικτών ξηρασίας στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού, στη Θεσσαλία. Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και σύγκριση της ξηρασίας είναι οι δείκτες Palmer, ο κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης SPI (Standardized Precipitation Index) και ο υδρολογικός δείκτης ξηρασίας Z_{ij} ο οποίος αποτέλεσε και τη βάση για τη σύγκριση.

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του προγράμματος σπουδών του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου και Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος κ. Λουκά Αθανάσιο για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του.

Τέλος ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ στον κ. Βασιλειάδη Λάμπρο για την υπερπολύτιμη συμβολή του για το πέρας αυτής της διπλωματικής εργασίας, στον αγαπητό μου φίλο Μπακαλιάνο Δημήτριο που ήταν δίπλα μου την κατάλληλη στιγμή και στον καλό μου φίλο και επιμελητή του εξωφύλλου Δαλάκη Νικόλαο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ-ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ	4
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	4
2.1.1 Γεωγραφική περιγραφή της λεκάνης απορροής του Πηνειού Ποταμού.	4
2.1.2 Γεωμορφολογία.	4
2.1.4 Κλίμα.....	5
2.2 ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ.....	6
2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών-ΓΣΠ (ArcView 9.0)....	7
2.2.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων σε ΓΣΠ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	12
3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ.....	12
3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	16
3.2.1 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης (Τροποποιημένη μέθοδος Thiessen).....	17
3.2.2. Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.....	20
3.2.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής.....	21
3.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ.....	23
3.3.1. Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL.....	23
3.3.2. Υπολογισμός της συνολικής απορροής στη περιοχή μελέτης.	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΞΗΡΑΣΙΑ	30
4.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	31
4.1.1 ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΟΣ ΔΕΙΚΤΗΣ ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗΣ SPI (STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX) 31	
4.1.2. PDSI (Palmer Drought Severity Index)	38
4.1.3 PHDI (Palmer Hydrological Drought Severity Index).	44
4.1.4 Z-index (Palmer Moisture Anomaly Index).....	44
4.1.5. Σταθμισμένος δείκτης Palmer - WPLM (Weighted PDSI).....	44
4.1.6. Μετασχηματισμός κλίμακας.....	47
4.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	47
4.2.1 Υπολογισμός του υδρολογικού δείκτη Z_{ij} (Runoff Z-index).....	48
4.2.2. Μετασχηματισμός Box-Cox (Box-Cox Transformation).....	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	50
5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	50
5.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	55
5.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΤΙΣ ΤΡΙΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.	63
5.4 ΧΩΡΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ SPI ΚΑΙ WPLM ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ Z_{ij}	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	93
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	95
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	103
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ	109
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ	120

Είναι γεγονός ότι η ξηρασία είναι ένα ακραίο περιβαλλοντικό φαινόμενο με διάφορες μορφές, ανάλογα με την παράμετρο με την οποία εκφράζεται και ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται. Ως άμεση επίπτωση, μια παρατεταμένη ξηρασία έχει σοβαρές επιπτώσεις στα υδατικά αποθέματα, στο περιβάλλον και σε όλους τους τομείς της οικονομίας.

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διάφορες παραδοχές και ορισμούς. Η μελέτη του φαινομένου περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνοτήτων ελάχιστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα (βροχόπτωση, απορροή κλπ.), όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας (υδατικό έλλειμμα, ελλειμματική επιφάνεια, ένταση κλπ.)

Αντικείμενο αυτής της ερευνητικής προσπάθειας είναι η εκτίμηση της μετεωρολογικής ξηρασίας, σε επίπεδο υπολεκανών, στη λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Βασικός στόχος είναι η σύγκριση των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας καθώς επίσης και η αναλυτική συσχέτιση της μετεωρολογικής με την υδρολογική ξηρασία. Ζητούμενο δηλαδή είναι η διακρίβωση της δυνατότητας χρησιμοποίησης των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας για την πρόγνωση της υδρολογικής ξηρασίας και τούτο διότι επειδή δεν υφίστανται δεδομένα απορροής η χρήση των μετεωρολογικών δεικτών είναι μονοσήμαντη αφού αυτοί υπολογίζονται με υπαρκτά δεδομένα νετόπτωσης και θερμοκρασίας.

Οι δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση και σύγκριση της ξηρασίας είναι οι δείκτες Palmer, ο κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης SPI (Standardised Precipitation Index) και ο υδρολογικός δείκτης ξηρασίας Z_{ij} ο οποίος αποτέλεσε και τη βάση για τη σύγκριση. Πιο συγκεκριμένα από τους δείκτες Palmer αναλύθηκαν ο δείκτης δριμύτητας ξηρασίας PDSI, ο υδρολογικός δείκτης Palmer PHDI ο σταθμισμένος δείκτης Palmer WPLM και ο δείκτης ανωμαλιών υγρασίας

Palmer Z-index. Ο δείκτης SPI μπορεί να υπολογιστεί για διάφορες κλίμακες, στην ανάλυση μας υπολογίστηκε τόσο για μικρές χρονικές κλίμακες 1-, 3-, 6- μηνών όσο και μεγάλες 9-, 12-, 24- μηνών.

Αναλυτικότερα, ο PDSI είναι ένας δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας για τον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη εκτός από την βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή καθώς και η εδαφική υγρασία η οποία προσδιορίζει την υδρολογική ξηρασία. Ο δείκτης βασίζεται στη θεώρηση παροχών-αναγκών της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις παρούσες καιρικές συνθήκες τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Επιπλέον, η διαφορά μεταξύ του PHDI με τον PDSI είναι ότι έχει ένα πολύ πιο δυνατό κριτήριο για την εύρεση της εξασθένησης μιας ξηρασίας ή μιας υγρής περιόδου, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μια σταδιακά αυξανόμενη ανάκτηση του δείκτη σε μια κανονική περίοδο, σε σχέση με αυτή που θα έδινε ο PDSI. Παράλληλα, λόγω του ότι ο PDSI έχει τη δυνατότητα να αντιστρέφεται (backtracking), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ευρεθείσες τιμές για να προσδιορίσουν τις κανονικές συνθήκες διότι οι τιμές του μπορούν να αντικατασταθούν με άλλες διαφορετικές τιμές. Η ιδέα του σταθμισμένου PDSI συμπυκνώνει όλες τις πληροφορίες σε ένα δείκτη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια καλύτερη εικόνα για την εύρεση των τρεχόντων συνθηκών από αυτές που δίνει ο κανονικός PDSI. Ο Palmer Z-index αναφέρεται στην ανωμαλία της υγρασίας για κάθε μήνα, χωρίς να λαμβάνει υπ'όψιν του τις προηγούμενες συνθήκες του χαρακτηρίζουν τον PDSI. Ο Z-index δίνει αποτελέσματα για την γεωργική ξηρασία, αφού προσαρμόζεται εύκολα τις αλλαγές των τιμών της εδαφικής υγρασίας.

Ο SPI είναι ένας σχετικά απλός δείκτης, ο οποίος βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης τα οποία προσαρμόζονται πάνω σε μια θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με την μονάδα έτσι ώστε οι τιμές του SPI να είναι στην πραγματικότητα η τυπική απόκλιση.

Τέλος, για να περιγραφεί το φαινόμενο της ξηρασίας με πληρότητα σε ένα σημείο και ειδικότερα σε μια περιοχή μελέτης, όπως μια λεκάνη, πέραν των μετεωρολογικών δεικτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοστεί ένας επιπλέον δείκτης (Runoff Z-index) ο οποίος περιγράφει το φαινόμενο της ξηρασίας βάσει δεδομένων παροχής. Ο βαθμός συσχέτισης του νέου αυτού δείκτη υδρολογικής ξηρασίας με τους μετεωρολογικούς δείκτες μπορεί να δώσει μια καθαρή εικόνα του

κατά πόσο τα γεγονότα ξηρασίας περιγράφονται ικανοποιητικά με την χρήση των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης ήταν τα εξής :

- Εύρεση των απαραίτητων μετεωρολογικών δεδομένων, γεωγραφικών δεδομένων, μελετών, άρθρων που αφορούν την περιοχή μελέτης.
- Διαχωρισμός της κύριας λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού σε υπολεκάνες με τη χρήση του γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών GIS ArcView 9.0
- Επεξεργασία των βροχομετρικών και μετεωρολογικών δεδομένων καθώς επίσης και δεδομένων προσομοιωμένων απορροών από το μοντέλο υδάτινου ισοζυγίου UTHBAL για την εκτίμηση των δεικτών μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας
- Ανάλυση συσχέτισης για την εύρεση του βέλτιστου δείκτη
- Χρονική και χωρική σύγκριση των βέλτιστων δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας με το δείκτη υδρολογικής ξηρασίας και εξαγωγή συμπερασμάτων

Αναλυτικότερα, στο 2^ο κεφάλαιο κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μια περιγραφή της περιοχής μελέτης όπου παρατίθενται γενικές πληροφορίες για τη γεωγραφική θέση, το κλίμα, και τη μορφολογία της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού καθώς και η διαδικασία διαχωρισμού της λεκάνης σε υπολεκάνες.

Στο 3^ο κεφάλαιο αναφέρεται όλη η βάση δεδομένων που αξιοποιήθηκε στη παρούσα εργασία, δηλαδή τα μετεωρολογικά στοιχεία και οι διαδικασίες υπολογισμού επιφανειακής υετόπτωσης, θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναπτύσσονται διεξοδικά οι δείκτες ξηρασίας που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και οι μέθοδοι υπολογισμού των.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εκτίμησης των βέλτιστων δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας και τα αποτελέσματα της χρονικής και χωρικής σύγκρισης με το δείκτη υδρολογικής ξηρασίας.

Στο 6^ο κεφάλαιο περιλαμβάνονται τα τελικά συμπεράσματα της χρονικής και χωρικής σύγκρισης των δεικτών ξηρασίας.

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

2.1.1 Γεωγραφική περιγραφή της λεκάνης απορροής του Πηνειού Ποταμού.

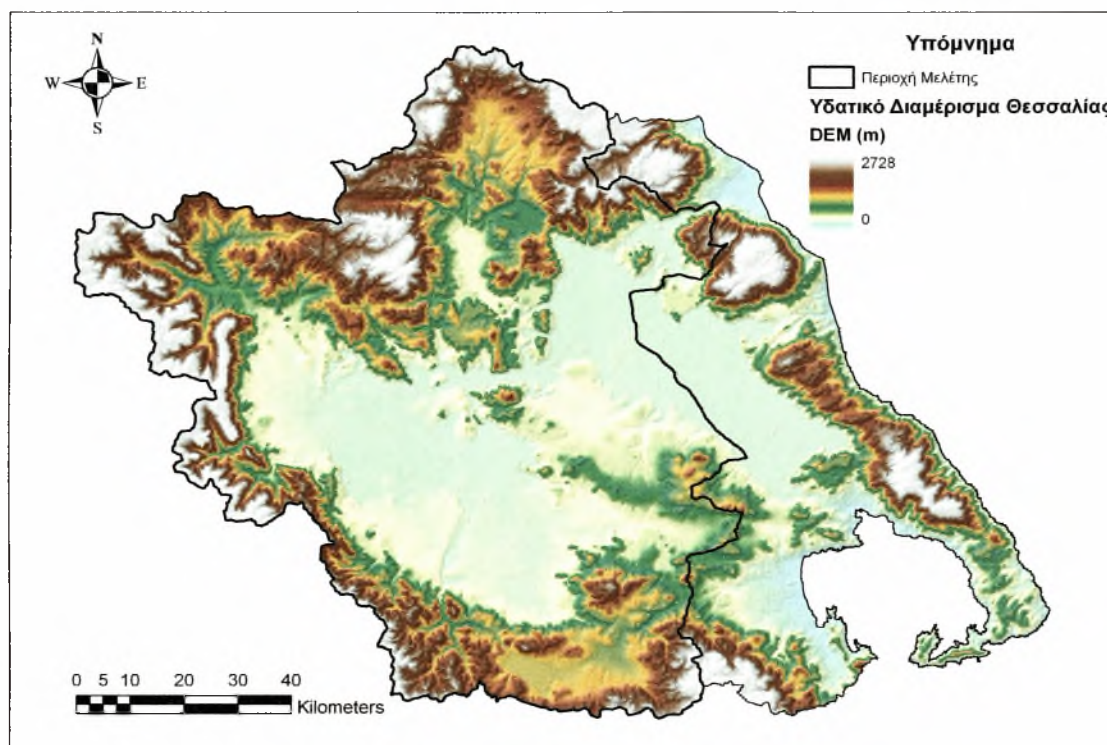
Η λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού που είναι η περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αποτελεί κομμάτι του κεντρικού γεωγραφικού διαμερίσματος της Ελλάδας, την Θεσσαλία. Η Θεσσαλία βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα της Κεντρικής Ελλάδας. Ανατολικά βρέχεται σε σχεδόν ευθύγραμμη ακτογραμμή από το Αιγαίο Πέλαγος. Από την κεντρική και δυτική Μακεδονία χωρίζεται από τους ορεινούς όγκους του Κάτω Ολύμπου (μέγιστο υψόμετρο 1588 m), του Άνω ή Υψηλού Ολύμπου (μ.υψ. 2917 m), του Τιτάρου (μ.υψ. 1839 m), των Καμβουνίων (μ.υψ. 1615 m), των Αντιχασίων (μ.υψ. 1416 m) και Χασίων (μ.υψ. 1564 m). Δυτικότερα από την Ήπειρο η Θεσσαλία χωρίζεται από την οροσειρά της Νότιας Πίνδου (μέγιστο υψόμετρο 2.204 m). Το νότιο όριο Θεσσαλίας και Στερεάς Ελλάδας διαμορφώνεται, από την δύση προς την ανατολή, αρχικά από μικρό τμήμα του Αχελώου.

2.1.2 Γεωμορφολογία.

Ο Θεσσαλικός χώρος, γεωμορφολογικά διαιρείται στις παρακάτω τέσσερις περιοχές: στην ορεινή Θεσσαλία, στη πεδινή Θεσσαλία, στην θαλάσσια παράκτια ζώνη και στα Νησιά των Βόρειων Σποράδων. Δεδομένο ότι η περιοχή μελέτης αποτελεί την ορεινή και πεδινή Θεσσαλία, αναφέρονται τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά αυτών των περιοχών.

Το τμήμα της ορεινής Θεσσαλίας με απόλυτο υψόμετρο άνω των 200 μ. έχει έκταση 9.550 km², δηλαδή καταλαμβάνει το 66,5% της συνολικής της έκτασης. Το υψόμετρο των 200 m. είναι χαρακτηριστικό για την Θεσσαλία, γιατί οριοθετεί σχεδόν παντού, τις περιοχές που αρχίζουν οι ορεινοί όγκοι. Η πεδινή Θεσσαλία ,δηλ. οι περιοχές με

υψόμετρο μικρότερο από 200 m, καταλαμβάνει έκταση 4.520 km², δηλαδή αποτελεί το 33,5% του όλου Θεσσαλικού χώρου.



Σχήμα 2.1. Λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού.

2.1.3 Λεκάνη απορροής του ποταμού Πηνειού και των παραποτάμων του.

Το κυριότερο υδατόρρευμα της πεδινής Θεσσαλίας είναι ο Πηνειός. Ωστόσο υπάρχουν και άλλες λεκάνες, όπως αυτή της λίμνης Κάρλας. Ο Πηνειός αποτελεί αποδέκτη σχεδόν όλων των ποταμών και χειμάρρων οι οποίοι έχουν τις πηγές τους στην ορεινή Θεσσαλία. Η λεκάνη απορροής του Πηνειού υποδιαιρείται σε μεγάλο αριθμό υπολεκανών, που αποστραγγίζονται από τους παραπόταμους του.

2.1.4 Κλίμα.

Η περιοχή της Θεσσαλίας διαιρείται σε τρεις κλιματικές περιοχές:

1. Την ανατολική παράκτια και ορεινή, με μεσογειακό κλίμα.

2. Την κεντρική πεδινή, με ηπειρωτικό κλίμα.
3. Την δυτική ορεινή, με ορεινό κλίμα.

Σε γενικές γραμμές το κλίμα στην πεδιάδα της Θεσσαλίας χαρακτηρίζεται ως εύκρατο με ηπειρωτικές περιόδους και διαφορετικές θερμομετρικές διακυμάνσεις ως προς το εύρος κατά την διάρκεια του έτους. Οι πιο θερμοί μήνες είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος ενώ οι πιο ψυχροί ο Ιανουάριος, ο Φεβρουάριος και ο Δεκέμβριος. Οι παγετοί είναι συχνοί και εμφανίζονται κατά την περίοδο Νοεμβρίου- Απριλίου. Το ύψος των κατακρημνίσεων στη περιοχή είναι σχετικά μεγάλο στα δυτικά, στη συνέχεια μειώνεται στο πεδινό τμήμα και αυξάνεται πάλι στο ορεινό ανατολικό τμήμα.

Παρατηρείται ξηρό και θερμό καλοκαίρι και ήπιος και βροχερός χειμώνας. Τον Οκτώβριο ξεκινούν συνθήκες ύφεσης οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένη υγρασία, βροχόπτωση και παρουσία ομίχλης και διαρκούν μέχρι τον Απρίλιο. Κατά την διάρκεια του καλοκαιριού παρατηρείται απουσία βαροβαθμίδας η οποία έχει ως συνέπεια την εμφάνιση επιπλέον ξηρασίας λόγω της ομοιόμορφης κατανομής της πίεσης η οποία ευθύνεται για τις αυξημένες θερμοκρασίες που απαντώνται στην περιοχή κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.

2.2 ΧΩΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ ΠΟΤΑΜΟΥ ΣΤΙΣ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΥΠΟΛΕΚΑΝΕΣ

Βασικό μέλημα αυτής της εργασίας είναι ο υπολογισμός, η επεξεργασία και η σύγκριση των δεικτών ξηρασίας στην λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Για τον λόγο αυτό για καλύτερο και πιο ακριβή υπολογισμό έγινε ο χωρισμός της λεκάνης μελέτης, με την βοήθεια του προγράμματος GIS ArcView 9.0, σε υπολεκάνες. Η διαδικασία αυτή παρατίθεται αναλυτικά στις επόμενες παραγράφους.

2.2.1 Γενικά χαρακτηριστικά του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών-ΓΣΠ (ArcView 9.0).

Για να μπορέσει να γίνει δυνατή η προσέγγιση των σχέσεων, των αλληλεξαρτήσεων και αλληλεπιδράσεων μεταξύ μετρητικών και ποιοτικών στοιχείων και χαρακτηριστικών της φυσικής και της κοινωνικοοικονομικής πραγματικότητας μιας περιοχής αλλά και η εκτίμηση του μέτρου, των μεγεθών και των τάσεων μεταβολών τους οι ερευνητές είναι υποχρεωμένοι να συνεκτιμήσουν και / ή να συγκρίνουν πολλά και ποικίλα συνήθως ετερογενούς ακρίβειας και μεγάλες μεταξύ τους χρονικές αποκλίσεις στοιχεία όπως: τοπογραφικά διαγράμματα, θεματικούς χάρτες αεροφωτογραφίες και επίγειες φωτογραφίες, στατιστικές απογραφές, πληροφορίες από φωτοερμηνευτικές αναλύσεις και ψηφιακές επεξεργασίες τηλεπισκοπικών απεικονίσεων κλπ., καθώς και στοιχεία ειδικών βάσεων δεδομένων όπως μετεωρολογικά υδρολογικά κλπ.

Η ιδιαιτερότητα στις βάσεις δεδομένων σε έργα που σχετίζονται με τη διαχείριση των υδατικών πόρων οφείλεται στη γεωγραφική εξάρτηση τους. Παίζει δηλαδή σημαντικό ρόλο η χωρική διάσταση των πληροφοριών και η γεωγραφική τους κατανομή. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των Γ.Σ.Π. συνοψίζονται στα παρακάτω:

- Δυνατότητα γεωγραφικής ανάλυσης των πληροφοριών
- Δυνατότητα ηλεκτρονικής χαρτογράφησης και παρουσίασης θεματικών χαρτών
- Δυνατότητα διεπιστημονικής εργασίας
- Δυνατότητα ένταξης μεθόδων μαθηματικής επεξεργασίας των πληροφοριών στα Γ.Σ.Π. καθώς και μοντέλα προσομοίωσης.

2.2.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων σε ΓΣΠ.

Με τη βοήθεια του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών ArcGIS 9, αφού εισήχθησαν χάρτες με κλίμακα 1:50000 στον υπολογιστή, με τη βοήθεια scanner (σαρωτή), έγινε ψηφιοποίηση των ισοϋψών της λεκάνης απορροής του ποταμού Πηνειού αλλά και της ευρύτερης περιοχής ανά 100 μέτρα.

Επίσης ψηφιοποιήθηκαν ακόμη τα ακόλουθα:

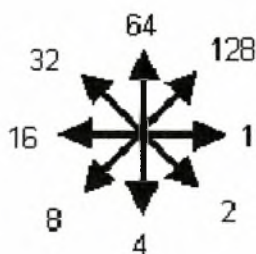
- Ο υδροκρίτης της λεκάνης απορροής
- Οι υδροκρίτες των υπολεκανών
- Οι χείμαρροι της λεκάνης απορροής της Θεσσαλίας
- Οι βροχομετρικοί και μετεωρολογικοί σταθμοί της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας
- Γεωλογικοί σχηματισμοί της λεκάνης απορροής της Θεσσαλίας

Μετά τη δημιουργία της βάσης δεδομένων όλα τα δεδομένα ανήχθησαν σε ένα γεωγραφικό σύστημα αναφοράς που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι το ΕΓΣΑ 87 για να μπορέσουν όλα τα στοιχεία να τοποθετηθούν στον χάρτη έχοντας ένα κοινό σύστημα αναφοράς. Με τη χρήση των ψηφιοποιημένων ισοϋψών και του Προγράμματος ArcGIS-Spatial Analyst δημιουργήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DTM) της ευρύτερης περιοχής της λεκάνης του Πηνειού το οποίο δίνει το γεωγραφικό ανάγλυφο της ευρύτερης περιοχής. Για να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε τη λεκάνη απορροής του Πηνειού χρησιμοποιήθηκε το Πρόγραμμα HEC-GeoHMS (Geospatial Hydrologic Modeling Extension) που είναι πρόσθετο (extension ή add-in) στο ArcGIS. Σκοπός της χρήσης του HEC-GeoHMS (HEC, 2000) είναι η διόρθωση των πιθανών λαθών στο DTM, ο εντοπισμός των υπολεκανών της λεκάνης απορροής του Πηνειού καθώς και η εξαγωγή των γεωμορφολογικών και υδρολογικών χαρακτηριστικών.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία της λεκάνης απορροής του Πηνειού και τον χωρισμό της σε υπολεκάνες.:

1. Διόρθωση λαθών του DTM (Fill Sinks or Depressions). Η ποιότητα του ψηφιακού μοντέλου εδάφους είναι πολύ σημαντική στην υδρολογική ανάλυση γιατί πρέπει το DTM να μην έχει κενά φατνία (grid cells) δηλαδή πρέπει να είναι συνεχόμενο για τη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου. Τα κενά φατνία (χωρίς υψόμετρο) που δημιουργήθηκαν από τον μετασχηματισμό των ισοϋψών συμπληρώθηκαν με βάση τις τιμές από τα διπλανά φατνία (με υψόμετρο) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο των γειτονικών φατνίων (8-point pour algorithm).

2.Υπολογισμός Διεύθυνσης Ροής (Flow Direction). Στο βήμα αυτό υπολογίστηκε η διεύθυνση ροής για το διορθωμένο ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Hydrologically corrected DTM) και για κάθε φατνίο του DTM. Όμοια με μία πυξίδα ο αλγόριθμος των γειτονικών φατνίων (8-point pour algorithm) δίνει μία τιμή από τους ακόλουθες οκτώ διευθύνσεις.



1 = Ανατολικά

2 = Νοτιοανατολικά

4 = Νότια

8 = Νοτιοδυτικά

16 = Δυτικά

32 = Βορειοδυτικά

64 = Βόρεια

128 = Βορειοανατολικά

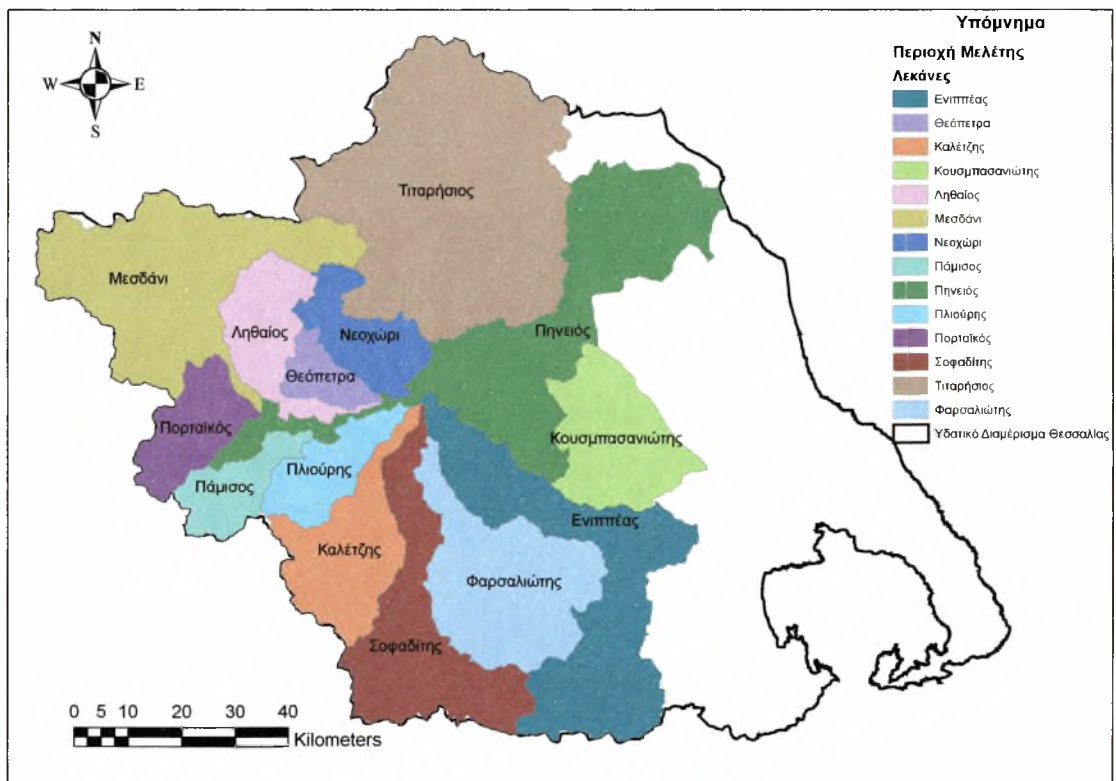
3.Υπολογισμός Συσσώρευσης Ροής (Flow Accumulation). Το βήμα αυτό υπολογίζει τον αριθμό των ανάντι κελιών που απορρέουν σε ένα δοσμένο φατνίο. Η περιοχή της λεκάνης απορροής για το δοσμένο αυτό φατνίο μπορεί να υπολογιστεί πολλαπλασιάζοντας την τιμή της συσσωρευμένης ροής επί το εμβαδόν του φατνίου (cell area).

4.Υπολογισμός Υδατορρευμάτων (Stream Definition). Το βήμα αυτό ταξινομεί όλα τα φατνία (grid cells) με ροή μεγαλύτερη από ένα συγκεκριμένο όριο και τα κάνει μέρος ενός συγκεκριμένου υδατορρευμάτος. Η σύγκριση με το ψηφιοποιημένο δίκτυο των χειμάρρων (υδατορρευμάτων) της ευρύτερης περιοχής χρησιμοποιήθηκε για τον καθορισμό του ορίου (κατώφλι) έτσι ώστε να γίνει πιστή αντιγραφή του υδρογραφικού δικτύου. Τυχόν ατέλειες στο υδρογραφικό δίκτυο διορθώθηκαν στα ψηφιακά δεδομένα.

5.Διακριτοποίηση Υδατορρευμάτων (Stream Segmentation). Το βήμα αυτό διαιρεί το υδατόρρευμα σε τμήματα. Τμήματα υδατορρευμάτων είναι τα κομμάτια των ρεμάτων που ενώνουν δύο διαδοχικούς κλάδους, ένα κλάδο και μία έξοδο.

6.Υπολογισμός Υπολεκανών (Watershed Delineation). Το βήμα αυτό δημιουργεί υπολεκάνες για κάθε κλάδο υδατορρευμάτων που υπολογίστηκαν από το προηγούμενο βήμα.

7.Υπολογισμός Λεκάνης Απορροής Πηνειού. Από τη στιγμή που πραγματοποιήθηκαν τα παραπάνω πρέπει να οριστεί η λεκάνη απορροής του Πηνειού και πάλι με τη βοήθεια του Προγράμματος HEC-GeoHMS δημιουργήθηκαν οι υπολεκάνες του Πηνειού. Έτσι λοιπόν με βάση τους κύριους κλάδους του υδατορρεύματος ορίστηκαν 14 υπολεκάνες με τις ακόλουθες ονομασίες: Πηνειός, Τηταρήσιος, Πλιούρης, Μεσδάνι, Θεόπετρα, Πορταϊκός, Νεοχώρι, Πάμισος, Ενιπέας, Φαρσαλιώτης, Καλέτζης, Κουσμπασανιώτης, Σοφαδίτης και Ληθαίος. Στο σχήμα 2.2 φαίνεται η τελική μορφή της λεκάνης μελέτης και των υπολεκανών.



Σχήμα 2.2. Υπολεκάνες της υδρολογικής λεκάνης του Πηνειού ποταμού.

8.Εξαγωγή Γεωμορφολογικών και Υδρολογικών Χαρακτηριστικών. Ο κύριος σκοπός της δημιουργίας του Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών της λεκάνης απορροής του Πηνειού ήταν ο υπολογισμός και η εξαγωγή των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών (Πίνακας 2.2) των υπολεκανών του για να χρησιμοποιηθούν στον υπολογισμό των Δεικτών Ξηρασίας.

Τα χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν είναι τα παρακάτω:

- Μέσο υψόμετρο υπολεκανών της λεκάνης απορροής Πηνειού
- Κέντρο βάρους υπολεκανών (Basin Centroid)
- Εμβαδά επηρεασμού των σταθμών υετόπτωσης, (Μέθοδος πολυγώνων Thiessen)

Πίνακας 2.2. Ονομασίες υπολεκανών και γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km ²)	ΕΛ.ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΓ.ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)	ΜΕΣΟ ΥΨΟΜΕΤΡΟ (m)
ΕΝΙΠΠΕΑΣ	1079.31	99	1626	393.9
ΦΑΡΣΑΛΙΩΤΗΣ	792.61	99	1008	227.3
ΛΗΘΑΙΟΣ	361.36	99	1190	317.9
ΜΕΣΣΑΝΙ	1116.22	116	2129	790.7
ΝΕΟΧΩΡΙ	308.22	99	1409	452.4
ΠΑΜΙΣΟΣ	233.14	99	1990	583.6
ΠΗΝΕΙΟΣ	1293.76	1	1905	275.9
ΠΟΡΤΑΙΚΟΣ	308.44	117	1852	632.7
ΣΟΦΑΔΙΤΗΣ	734.00	99	1618	469.1
ΘΕΟΠΕΤΡΑ	142.89	99	757	213.5
ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	502.81	99	1428	315.7
ΠΛΙΟΥΡΗΣ	274.79	99	1004	157.7
ΤΙΤΑΡΗΣΙΟΣ	1925.94	99	2728	610.5
ΚΟΥΣ/ΝΙΩΤΗΣ	530.03	99	711	192.7

3.1 ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Στη παρούσα εργασία από σύνολο 66 βροχομετρικών σταθμών του γεωγραφικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας, έγινε συλλογή των μηνιαίων τιμών της βροχόπτωσης για 42 υδρολογικά έτη (1960-61 έως 2001-02). Τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης αρχειοθετήθηκαν σε ξεχωριστά φύλλα εργασίας του Προγράμματος Excell. Με κριτήριο την μέγιστη δυνατή κάλυψη της περιοχής μελέτης έγινε η επιλογή των σταθμών για τη περαιτέρω ανάλυση των βροχομετρικών δεδομένων. Στο Πίνακα 3.1.1 παρουσιάζονται οι σταθμοί υετόπτωσης με τις κυριότερες γενικές πληροφορίες τους.

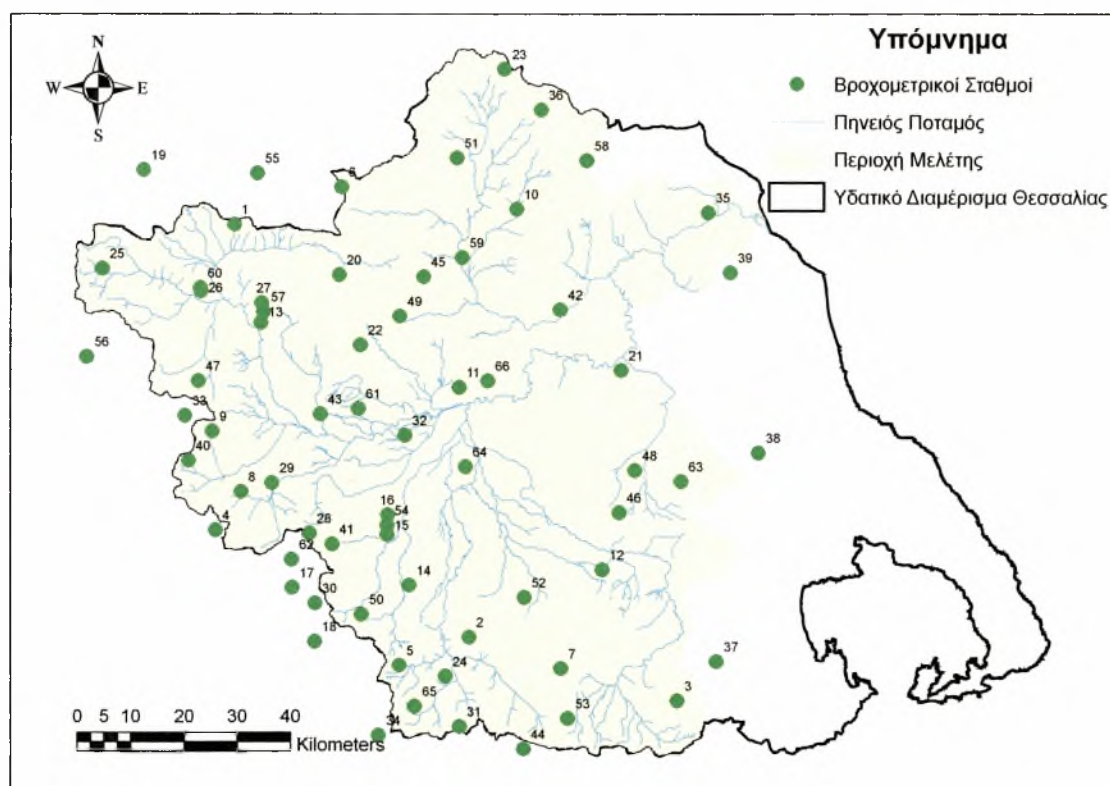
Πίνακας 3.1. Σταθμοί βροχόπτωσης υδρολογικής λεκάνης Πηνειού ποταμού.

ID	Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο (m)	Νομός	Υπηρεσία
1	ΑΓΙΟΦΥΛΛΟΣ	581	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
2	ΑΝΑΒΡΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	208	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
3	ΑΝΑΒΡΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	700	ΜΑΓΝΗΣΙΑ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
4	ΑΡΓΙΘΕΑ	980	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
5	ΒΑΘΥΛΑΚΟΣ	800	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
6	ΔΕΣΚΑΤΗ	850	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	ΔΕΗ
7	ΔΟΜΟΚΟΣ	615	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	Ε.Μ.Υ
8	ΔΡΑΚΟΤΡΥΠΑ	680	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
9	ΕΛΑΤΗ	900	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
10	ΕΛΑΣΣΟΝΑ	314	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
11	ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	87	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
12	ΦΑΡΣΑΛΑ	138	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
13	ΚΑΛΑΜΠΑΚΑ	222	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Ε.Μ.Υ
14	ΚΑΛΛΙΦΩΝΙ	100	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
15	ΚΑΠΝΙΚΟΣ	110	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
16	ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	95	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
17	ΚΑΡΙΤΣΑ	900	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ

18	ΚΑΡΟΠΛΕΣΙ	910	ΕΥΡΥΤΑΝΙΑΣ	ΔΕΗ
19	ΚΗΠΟΥΡΓΙΟ	868	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	ΔΕΗ
20	ΚΟΝΙΣΚΟΣ	860	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
21	ΛΑΡΙΣΑ	73	ΛΑΡΙΣΑΣ	Ε.Μ.Υ
22	ΛΙΟΠΡΑΣΣΟ	740	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
23	ΛΙΒΑΔΙ	1183	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
24	ΛΟΥΤΡΟΠΗΓΗ	730	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
25	ΜΑΛΑΚΑΣΙΟ	842	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
26	ΜΕΓ.ΚΕΡΑΣΙΑ	500	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
27	ΜΕΤΕΩΡΑ	596	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
28	ΜΟΡΦΟΒΟΥΝΙ	780	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
29	ΜΟΥΖΑΚΙ	226	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
30	ΜΟΥΧΑ	870	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
31	Π.ΓΙΑΝΝΙΤΣΟΥ	960	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
32	ΠΕΔΙΝΟ	95	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
33	ΠΕΡΤΟΥΛΙ	1160	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
34	ΠΙΤΣΙΩΤΑ	800	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	ΔΕΗ
35	ΠΥΡΓΕΤΟΣ	31	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
36	ΠΥΘΕΙΟ	750	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
37	ΣΚΟΠΙΑ	580	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
38	ΣΩΤΗΡΙΟ	51	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
39	ΣΠΗΛΙΑ	813	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
40	ΣΤΟΥΡΝΑΡΕΪΚΑ	860	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΔΕΗ
41	ΤΑΥΡΩΠΟΣ	220	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΔΕΗ
42	ΤΥΡΝΑΒΟΣ	92	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
43	ΤΡΙΚΑΛΑ	149	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	Ε.ΜΥ
44	ΤΡΙΛΟΦΟ	580	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
45	ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΑ	863	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
46	ΧΑΛΚΙΑΔΕΣ	250	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
47	ΧΡΥΣΟΜΗΛΙΑ	940	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
48	ΖΑΠΠΕΙΟ	170	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
49	ΑΓΡΙΕΛΙΑ	700	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
50	ΑΜΑΡΑΝΤΟΣ	800.0	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
51	ΓΙΑΝΝΩΤΑ	578.0	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
52	ΓΡΑΜΜΑΤΙΚΟ	95.0	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
53	ΞΥΝΙΑΔΑ	456.0	ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
54	ΚΑΡΔΙΤΣΑ	138.0	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
55	ΚΑΡΠΕΡΟ	510.0	ΓΡΕΒΕΝΩΝ	ΔΕΗ
56	ΚΑΤΑΦΥΤΟ	980.0	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ

57	ΚΡΑΤΙΚΟ ΚΤΗΜΑ	532.0	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
58	ΚΡΥΟΒΡΥΣΗ	1030.0	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
59	ΜΑΓΟΥΛΑ	180	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
60	ΜΕΓ.ΚΕΡΑΣΙΑ (ΥΠ.ΓΕ)	560	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
61	ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ	100	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ
62	ΜΠΕΖΟΥΛΑ	901	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
63	ΜΥΡΑ	320	ΛΑΡΙΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
64	ΠΑΛΑΜΑΣ	95	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΓΕ
65	ΡΕΝΤΙΝΑ	903	ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ	ΥΠ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ
66	ΖΑΡΚΟ	200	ΤΡΙΚΑΛΩΝ	ΥΠ.ΓΕ

Οι σταθμοί δεν βρίσκονται όλοι μέσα στα όρια της επικείμενης λεκάνης μελέτης αλλά ορισμένοι και εκτός αυτής με σκοπό την ακριβέστερη και πιο ολοκληρωμένη χωρική κάλυψη της περιοχής μελέτης. Οι θέσεις των σταθμών απεικονίζονται στο Σχήμα 3.1.

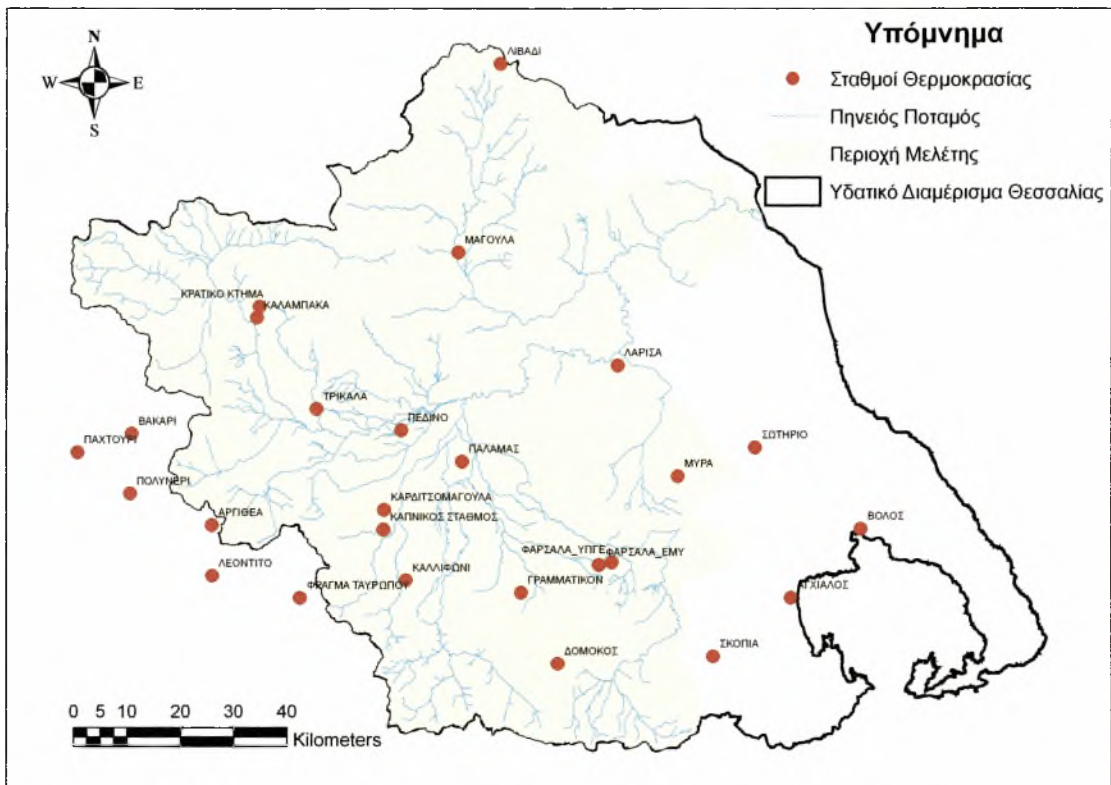


Σχήμα 3.1. Σταθμοί νετόπτωσης υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

Επίσης για την εκτίμηση της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας από 26 σταθμούς για το σύνολο των υδρολογικών ετών 1960-61 έως 2001-02. Στο Πίνακα 3.1.2 παρουσιάζονται οι σταθμοί θερμοκρασίας με τις κυριότερες γενικές πληροφορίες τους και στο Σχήμα 3.1.2 παρουσιάζονται οι θέσεις των σταθμών αυτών.

Πίνακας 3.2. Σταθμοί θερμοκρασίας υδρολογικής λεκάνης Πηνειού.

	Όνομα Σταθμού	Υψόμετρο (m)	Νομός
1	Αγχίαλος	15	Μαγνησίας
2	Αργιθέα	980	Καρδίτσας
3	Βάκαρι	1150	Τρικάλων
4	Βόλος	3	Μαγνησίας
5	Γραμματικό	95	Καρδίτσας
6	Δομοκός	615	Φθιώτιδας
7	Καλαμπάκα	222	Τρικάλων
8	Καλλιφώνι	100	Καρδίτσας
9	Καπνικός	110	Καρδίτσας
10	Καρδισσομαγούλα	95	Καρδίτσας
11	Κρατικό κτήμα	532	Τρικάλων
12	Λάρισα	73	Λάρισας
13	Λεοντίτο	950	Καρδίτσας
14	Λιβάδι	1183	Λάρισας
15	Μαγούλα	180	Λάρισας
16	Μύρα	320	Λάρισας
17	Παλαμάς	95	Καρδίτσας
18	Παχτούρι	950	Τρικάλων
19	Πεδινό	95	Καρδίτσας
20	Πολυνέρι	730	Τρικάλων
21	Σκοπιά	580	Λάρισας
22	Σωτήριο	51	Λάρισας
23	Ταυρωπός	850	Καρδίτσας
24	Τρίκαλα	149	Τρικάλων
25	Φάρσαλα Ε.Μ.Υ	434	Λάρισας
26	Φάρσαλα ΥΠ.ΓΕ	148	Λάρισας



Σχήμα 3.2. Σταθμοί θερμοκρασίας υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας.

3.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Από τους διαθέσιμους μετεωρολογικούς σταθμούς με κοινή περίοδο δεδομένων Οκτώβριος 1960 έως Σεπτέμβριος 2002 και για κάθε υπολεκάνη υπολογίστηκε η μέση επιφανειακή γυνετόπωση, η μέση επιφανειακή θερμοκρασία και η δυνητική εξατμισοδιαπνοή.

3.2.1 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης
(Τροποποιημένη μέθοδος Thiessen)

Μέθοδος πολυγώνων Thiessen

Με τη μέθοδο των πολυγώνων Thiessen υπολογίστηκαν οι συντελεστές στάθμισης για κάθε σταθμό που αντιστοιχούν στα εμβαδά των πολυγώνων επηρεασμού των σταθμών κάθε υπολεκάνης όπως προκύπτει με την χάραξη των μεσοκαθέτων επί των αποστάσεων των σταθμών μεταξύ τους. Η μέση επιφανειακή βροχόπτωση της λεκάνης προκύπτει ως το άθροισμα των επιμέρους μηνιαίων υψών βροχόπτωση των σταθμών πολλαπλασιαζόμενες επί τους αντίστοιχους συντελεστές στάθμισης σύμφωνα με την εξίσωση

$$P_0 = \sum_{i=1}^I \left(\frac{A_i \times P_i}{A} \right) \tag{3.1}$$

όπου P_i το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης των σταθμών που επηρεάζουν την λεκάνη και A_i/A το ποσοστό επηρεασμού του κάθε σταθμού

Ενδεικτικό παράδειγμα στη ευρύτερη λεκάνη του Πηνειού αναφέρεται η υπολεκάνη απορροής του Πλιούρη με τους σταθμούς που την επηρεάζουν και το ποσοστό επηρεασμού του κάθε σταθμού (Πίνακας 3.3) μετά την χρήση και την εφαρμογή των πολυγώνων Thiessen από το ArcGIS 9.0.

Πίνακας 3.3. Ποσοστό επηρεασμού σταθμού μετά τη χρήση πολυγώνων Thiessen.

Μετεωρολογικοί Σταθμοί	Ποσοστό επηρεασμού (%)
ΚΑΠΝΙΚΟΣ	2.62
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	3.83
ΤΑΥΡΩΠΟΣ	12.81
ΜΟΥΖΑΚΙ	4.88
ΤΡΙΚΑΛΑ	3.23
ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	32.07
ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ	4.15
ΠΕΔΙΝΟ	33.87
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	2.55

Η τροποποιημένη μέθοδος Thiessen ολοκληρώνεται με τη βοήθεια της μεθόδου της βροχοβαθμίδας.

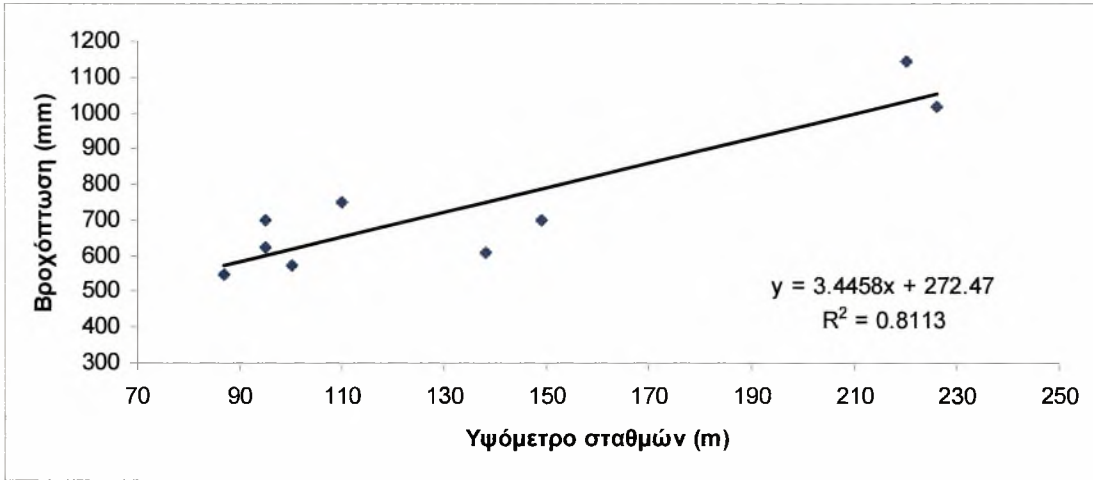
Μέθοδος βροχοβαθμίδας

Η μέθοδος της βροχοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι το ύψος βροχής αυξάνει με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί τη βροχοβαθμίδα που είναι ο όρος που περιγράφει την αύξηση του ετήσιου ύψους ανά 100 μέτρα αύξηση του υψομέτρου (Σχήμα 3.3). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί μια απλή γραμμική σχέση που συσχετίζει τα υψόμετρα των σταθμών με το μέσο ετήσιο ύψος βροχής κάθε σταθμού και εφόσον υπάρχει ικανοποιητική συσχέτιση (συντελεστής συσχέτισης $r > 0.70$), η σχέση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του ύψους βροχής σε οποιοδήποτε υψόμετρο (Παπαμιχαήλ, 2001).

Από την εξέταση των μέσων όρων των ετήσιων βροχοπτώσεων (Πίνακας 3.4) των υδρολογικών ετών (1960-61 μέχρι 2001-02) των εννέα βροχομετρικών σταθμών που επηρεάζουν την υπολεκάνη απορροής του Πλιούρη και με τη χρήση των δεδομένων τους προκύπτει η σχέση μεταβολής της μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με το υψόμετρο.

Πίνακας 3.4. Μέσα ετήσια ύψη βροχόπτωσης στην υπολεκάνη Πλιούρης.

Μετεωρολογικοί Σταθμοί	Υψόμετρο (m)	Μέση ετήσια βροχόπτωση (mm)
ΚΑΠΝΙΚΟΣ	110	750.14
ΚΑΡΔΙΤΣΑ	138	607.73
ΤΑΥΡΩΠΟΣ	220	1142.77
ΜΟΥΖΑΚΙ	226	1015.49
ΤΡΙΚΑΛΑ	149	697.73
ΚΑΡΔΙΤΣΟΜΑΓΟΥΛΑ	95	697.33
ΜΕΓΑΛΟΧΩΡΙ	100	572.29
ΠΕΔΙΝΟ	95	624.05
ΦΑΡΚΑΔΩΝΑ	87	548.58



Σχήμα 3.3. Γραμμική σχέση μέσης ετήσιας βροχόπτωσης με υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών στην υπολεκάνη του Πλιούρη.

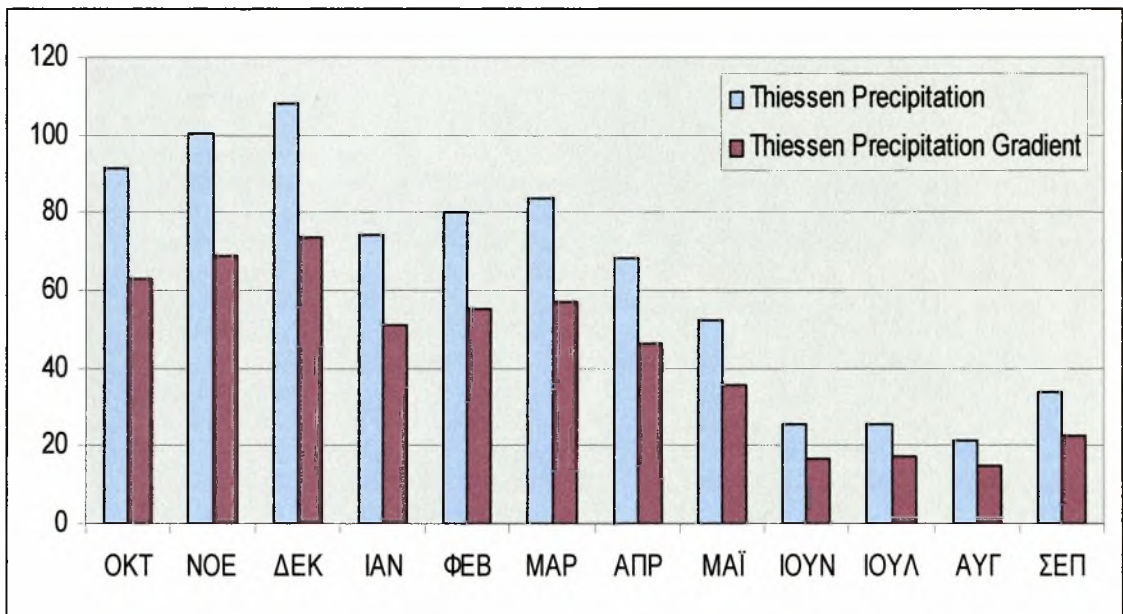
Για την εκτίμηση της μέσης βροχόπτωσης της λεκάνης απορροής του Πλιούρη χρησιμοποιούνται τα δεδομένα (υψόμετρα) όλων των σταθμών της περιόδου των υδρολογικών ετών 1960-61 έως 2001-02 πολλαπλασιασμένα με το ποσοστό επηρεασμού του κάθε σταθμού. Έτσι προκύπτει το μέσο υψόμετρο των σταθμών της λεκάνης απορροής του Πλιούρη. Η εκτίμηση των μηνιαίων υψών βροχόπτωσης που αντιστοιχούν στο μέσο υψόμετρο (157.67 m) της λεκάνης του Πλιούρη (Σχήμα 3.4) για κάθε έτος γίνεται με τις σχέσεις :

$$P_k = P_{T(k)} - \frac{70.691 \times 344.58}{100} \quad \text{και} \quad (3.2)$$

$$P_i^k = \frac{P_k \times P_{T(i)}^k}{P_{T(k)}} \quad (3.3)$$

όπου, $P_{T(k)}$ το ετήσιο ύψος βροχόπτωσης από την εφαρμογή των πολυγώνων Thiessen κατά το έτος k σε mm, P_k το ετήσιο ύψος της μέσης επιφανειακής βροχόπτωσης στην υπολεκάνη του Πλιούρη κατά το έτος k σε mm, P_i^k το μηνιαίο ύψος επιφανειακής βροχόπτωσης κατά το μήνα i και το μήνα k στην υπολεκάνη του Πλιούρη σε mm, $P_{T(i)}^k$

το μηνιαίο ύψος βροχόπτωσης κατά τον μήνα i και το έτος k , από την εφαρμογή του προηγούμενου βήματος των πολυγώνων Thiessen, 344.58 η βροχοβαθμίδα (Σχήμα 3.3) που υπολογίστηκε και 70.691 η διαφορά ανάμεσα στο μέσο υψόμετρο των σταθμών μετά την στάθμιση τους με τα εμβαδά επηρεασμού και του μέσου υψομέτρου της υπολεκάνης απορροής του Πλιούρη.

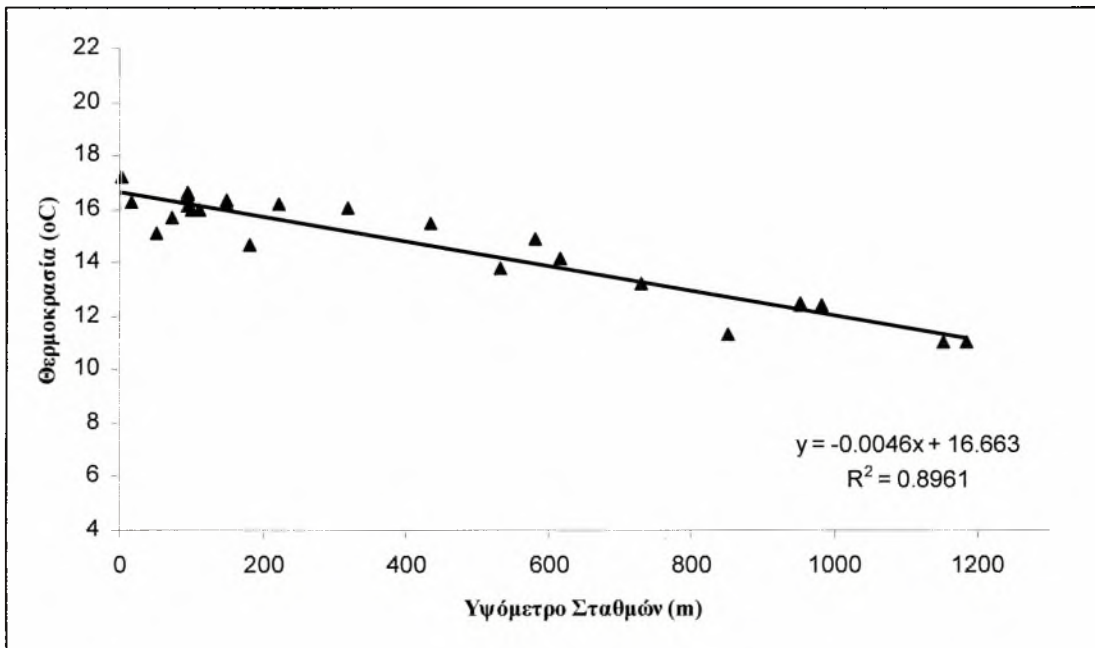


Σχήμα 3.4. Υπολογιζόμενη ετήσια βροχόπτωση στην υπολεκάνη Πλιούρη.

3.2.2. Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής θερμοκρασίας.

Μέθοδος θερμοβαθμίδας

Η μέθοδος θερμοβαθμίδας βασίζεται στην παρατήρηση ότι η θερμοκρασία μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου και χρησιμοποιεί την ετήσια θερμοβαθμίδα που περιγράφει την μείωση της ετήσιας θερμοκρασίας ανά 100 μέτρα αύξηση του υψομέτρου. Ο υπολογισμός της θερμοβαθμίδας υπολογίστηκε από όλους τους σταθμούς θερμοκρασίας της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλίας.



Σχήμα 3.4. Γραμμική σχέση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με το υψόμετρο των μετεωρολογικών σταθμών σε ολόκληρη την Θεσσαλία.

3.2.3 Εκτίμηση και υπολογισμός μέσης επιφανειακής δυνητικής εξατμισοδιαπνοής

Η μέθοδος εκτίμησης της μέσης επιφανειακής εξατμισοδιαπνοής περιγράφεται στις παρακάτω παραγράφους.

Μέθοδος Thornthwaite

Ο Thornthwaite (1948) περιέγραψε τη βιολογική και φυσική σημασία της εξατμισοδιαπνοής στην κλιματική ταξινόμηση και ανέπτυξε μια εξίσωση για την εκτίμηση της δυνατής εξατμισοδιαπνοής.:

$$Ep = 16 \cdot L_d \cdot \left(10 \cdot \frac{T_a}{I} \right)^a \quad (3.4)$$

Όπου, T_a η μέση μηνιαία θερμοκρασία της λεκάνης απορροής σε $^{\circ}\text{C}$, I ο δείκτης θερμότητας που δίνεται από την σχέση :

$$I = \sum_{n=1}^{12} \left(\frac{T_n}{5} \right)^{1.514} \quad (3.5)$$

Όπου T_n η κανονική θερμοκρασία κάθε μήνα , L_d ένας διορθωτικός συντελεστής που υπολογίζεται από μετεωρολογικούς πίνακες ως συνάρτηση του μήνα και του γεωγραφικού πλάτους και a ένας συντελεστής που υπολογίζεται από τη σχέση :

$$a = 0.000000675I^3 - 0.000077I^2 + 0.01792I + 0.49239 \quad (3.6)$$

Η μέθοδος Thornthwaite παρουσιάζει κάποια μειονεκτήματα, αφού η υπολογιζόμενη εξατμισοδιαπνοή υποεκτιμάται, όταν η ακτινοβολία που προσλαμβάνει η γη έχει τη μέγιστη τιμή της, δηλαδή στη διάρκεια του καλοκαιριού και κατά συνέπεια είναι εκτός φάσης το φθινόπωρο. Αυτό αποδίδεται στη χρονική υστέρηση που παρουσιάζει η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας ως προς την ακτινοβολία. Επίσης η χρησιμοποίηση της μεθόδου για μικρά χρονικά διαστήματα δεν είναι κατάλληλη επειδή η μέση θερμοκρασία μικρών χρονικών περιόδων δεν αποτελεί κατάλληλο μέτρο για την ενέργεια που διατίθεται στο φαινόμενο της εξατμισοδιαπνοής. Είναι περισσότερο επιτυχής η μέθοδος για μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, όπως μηνιαία ,και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η εξατμισοδιαπνοή είναι όμοιες συναρτήσεις της καθαρής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου αυτοσυσχετίζονται όταν οι θεωρούμενες χρονικές περίοδοι είναι μεγάλες.

3.3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΥΔΑΤΙΝΟΥ ΙΣΟΖΥΓΙΟΥ

Απώτερος σκοπός των υδρολογικών μοντέλων υδατικού ισοζυγίου είναι να εκτιμήσουν την απορροή από βροχομετρικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την εξίσωση της συνέχειας που δίνεται από την εξίσωση:

$$R = P - L \quad (3.7)$$

όπου, R η συνολική απορροή σε mm, P η βροχόπτωση σε mm, και L οι υδρολογικές απώλειες σε mm.

Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ένα νέο μοντέλο υδατικού ισοζυγίου και περιγράφεται στις επόμενες παραγράφους.

3.3.1. Το μοντέλο υδατικού ισοζυγίου UTHBAL

Σε πολλές ορεινές λεκάνες η απορροή από την τήξη του χιονιού είναι σημαντική. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκε μια υπορουτίνα υπολογισμού για τη διάκριση της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι καθώς και για τη συσσώρευση του χιονιού αλλά και την τήξη του χιονιού.

Αρχικό βήμα στη κατάστρωση του μοντέλου προσομοίωσης της απορροής, είναι ο διαχωρισμός της υετόπτωσης σε βροχή και χιόνι. Ο διαχωρισμός αυτός καθορίζεται, κυρίως από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ορίστηκε ένα όριο θερμοκρασίας κάτω από το οποίο όλη η υετόπτωση είναι χιόνι και κάποιο άλλο, πάνω από το οποίο είναι βροχή. Έτσι, για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 12.22° C θεωρήθηκε ότι όλο το ποσοστό της υετόπτωσης είναι βροχή, ενώ για μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες μικρότερες από -10°C, όλο το ποσοστό της συνολικής υετόπτωσης είναι χιόνι. Για θερμοκρασίες μεταξύ των δύο αυτών τιμών το χιόνι υπολογίζεται ως ποσοστό της υετόπτωσης που παρατηρήθηκε. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε γραμμική σχέση ως προς τη θερμοκρασία (Semadeni – Davies, A., 1997):

$$\%S = -4.5 \cdot T + 55 \quad \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (3.8)$$

Δοκιμάζοντας τη σχέση αυτή διαπιστώθηκε ότι για τιμές θερμοκρασίας κοντά στο μηδέν, η συνολική απορροή είχε αποκλίσεις από τις παρατηρούμενες τιμές κάτι που πιθανόν οφειλόταν στη γραμμική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας-ποσοστού χιονιού. Δοκιμάστηκε και διαπιστώθηκε ότι βελτιώνονται τα αποτελέσματα όταν χρησιμοποιηθεί αντί για γραμμική, λογιστική σχέση. Λογιστική σχέση έχει χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχο μοντέλο σε μελέτη για τη βόρεια λεκάνη απορροής του Στρυμόνα με σχετικά παρόμοια κλιματολογικά χαρακτηριστικά και έδωσε επίσης καλύτερα αποτελέσματα. Σύμφωνα λοιπόν με τη λογιστική σχέση, το ποσοστό της υετόπτωσης που είναι χιόνι δίνεται από τη παρακάτω έκφραση:

$$\begin{aligned} \%S &= 0 && \text{για } T \geq 12.22^{\circ}\text{C} \\ \%S &= \frac{100}{1.35^T \cdot 1.61 + 1} && \text{για } -10^{\circ}\text{C} \leq T \leq 12.22^{\circ}\text{C} \quad (3.9) \\ \%S &= 100 && \text{για } T \leq -10^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

όπου T η μέση μηνιαία θερμοκρασία.

Έχοντας, λοιπόν, ως δεδομένα, από μετεωρολογικούς σταθμούς, τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες και τη μηνιαία υετόπτωση, υπολογίστηκε η μηνιαία χιονόπτωση. Ο επόμενος υπολογισμός αφορά τη δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού εκφρασμένη σε mm/μήνα. Η τήξη χιονιού επηρεάζεται από μια σειρά παραμέτρων, όπως, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η ατμοσφαιρική πίεση, η ταχύτητα του ανέμου και κυρίως η φυτοκάλυψη. Οι παραπάνω παράμετροι είναι δύσκολο να υπολογιστούν καθώς δεν υπάρχουν ανάλογα δεδομένα. Γνωρίζοντας την ημερήσια θερμοκρασία περιβάλλοντος, μπορεί να υπολογιστεί η τήξη χιονιού από τη σχέση (degree-day method) (Semadeni – Davies, A., 1997):

$$M = C_m \cdot T \cdot N \quad (3.10)$$

όπου C_m είναι παράμετρος με μονάδες mm/^oC/ημέρα, T ημερήσια θερμοκρασία, N ο αριθμός των ημερών σε κάθε μήνα. Στη συγκεκριμένη μελέτη όπου τα θερμοκρασιακά δεδομένα ήταν μηνιαία, η παραπάνω σχέση μετατράπηκε ως εξής:

$$M = C_m \cdot T_{\text{μηνιαία}} \quad (3.11)$$

όπου πλέον η παράμετρος C_m έχει μονάδες mm/^oC/μήνα και σύμφωνα με αυτήν δίνεται η δυνητική μηνιαία τήξη χιονιού.

Η παράμετρος C_m αλλάζει ανάλογα με την εξεταζόμενη κάθε φορά λεκάνη αφού εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη φυτοκάλυψη, τη μορφολογία και κλιματολογία της περιοχής (πεδινή, ορεινή). Έτσι, για κάθε λεκάνη η τιμή της παραμέτρου πρέπει να ρυθμιστεί κατά τη διαδικασία ρύθμισης των παραμέτρων (calibration) και αποτελεί μια επιπλέον παράμετρο των υδρολογικών μοντέλων. Διαπιστώθηκε ότι υπάρχει σχέση μεταξύ της παραμέτρου C_m και του μέσου υψομέτρου της λεκάνης καθώς και ότι οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 5 – 10 mm/^oC/μήνα.

Το UTHBAL μοντέλο διακρίνει την συνολική απορροή σε τρεις συνιστώσες απορροής, δηλαδή, την επιφανειακή απορροή, την ενδιάμεση ή επιδερμική απορροή, και την βασική απορροή ή απορροή που προέρχεται από την εκροή του υδροφορέα. Σύμφωνα με το μοντέλο πρώτη προτεραιότητα στο υδατικό ισοζύγιο πριν τη δημιουργία απορροής αποτελεί η ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής. Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή E_a του μήνα J εξαρτάται από τη διαθέσιμη εδαφική υγρασία του μήνα J , και την μέση επιφανειακή δυνητική εξατμισοδιαπνοή E_p του μήνα J . Η μηνιαία πραγματική εξατμισοδιαπνοή υπολογίζεται από τη σχέση που πρότειναν οι Vandewiele και Win (Vandewiele and Win, 1998):

$$E_a(J) = \min \{ E_p(J) * (1 - \alpha^{Smoist(J)/E_p(J)}), Smoist(J) \} \quad (3.12)$$

όπου $S_{\text{moist}}(J)$ η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, α ένας συντελεστής πραγματικής εξατμισοδιαπνοής ($0 \leq \alpha \leq 1$), και $E_p(J)$ η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του μήνα J . Η επιφανειακή απορροή, SR , του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$SR(J) = (1 - K) * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}} \quad (3.13)$$

ή

$$SR(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}} \quad (3.14)$$

όπου, $AS_{\text{moist}}(J) = S_{\text{moist}}(J) - E_a(J)$, η υπολειπόμενη εδαφική υγρασία του μήνα J μετά την ικανοποίηση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής, $S_{\text{max}} = \frac{25400}{CN} - 254$, η μέγιστη εδαφική υγρασία, CN το Curve Number της Soil Conservation Method (SCS, 1972) ($0 \leq CN \leq 100$), και K ο συντελεστής κατείσδυσης ($0 \leq K \leq 1$).

Η διήθηση προς τον υπόγειο υδροφόρο, D , του μήνα J υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$D(J) = K * (AS_{\text{moist}}(J) - S_{\text{max}}) \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) > S_{\text{max}} \quad (3.15)$$

ή

$$D(J) = 0 \text{ εάν } AS_{\text{moist}}(J) \leq S_{\text{max}} \quad (3.16)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία του μήνα J , N_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$N_{\text{moist}}(J) = AS_{\text{moist}}(J) - SR(J) - D(J) \quad (3.17)$$

Η ενδιάμεση απορροή από την εδαφική υγρασία, MR , του μήνα J υπολογίζεται ως:

$$MR(J) = \beta * [N_{\text{moist}}(J-1) + N_{\text{moist}}(J)] \quad (3.18)$$

όπου, β ο συντελεστής ενδιάμεσης απορροής ($0 \leq \beta \leq 1$)

Η υπολειπόμενη υγρασία στο τέλος του μήνα J, NS_{moist} , υπολογίζεται από τη σχέση:

$$NS_{moist}(J) = N_{moist}(J) - MR(J) \quad (3.19)$$

Η διαθέσιμη εδαφική εργασία για πλήρωση της πραγματικής εξατμισοδιαπνοής του επόμενου μήνα J+1 είναι:

$$S_{moist}(J+1) = P(J+1) + NS_{moist}(J) \quad (3.20)$$

Η βασική απορροή ή απορροή από την εκροή του υδροφορέα, Q_g , του μήνα J υπολογίζεται από τη διήθηση, D, του προηγούμενου μήνα J-1, από τη σχέση:

$$Q_g(J) = \gamma * D(J-1) \quad (3.21)$$

όπου, γ ο συντελεστής βασικής απορροής ή συντελεστής εκροής του υδροφορέα ($0 \leq \gamma \leq 1$).

Η φόρτιση του υπόγειου υδροφορέα, $R(J)$, του μήνα J υπολογίζεται από τη διήθηση D, του προηγούμενου μήνα J-1, από τη σχέση:

$$R(J) = (1-\gamma) * D(J-1) \quad (3.22)$$

Τέλος, η συνολική απορροή, Q_c , υπολογίζεται ως άθροισμα των επιμέρους συνιστωσών της απορροής, δηλαδή της επιφανειακής απορροής, ενδιάμεσης απορροής και βασικής απορροής:

$$Q_c(J) = SR(J) + MR(J) + Q_g(J) \quad (3.23)$$

Το προτεινόμενο μοντέλο υδρολογικού ισοζυγίου είναι ένα μοντέλο έξι παραμέτρων. Είναι όμως δυνατόν δύο από τους παραμέτρους του μοντέλου, το CN και ο συντελεστής κατεΐσδυσης K, να εκτιμηθούν άμεσα από εδαφολογικούς και γεωλογικούς αναλογικούς ή ψηφιακούς χάρτες, και χάρτες χρήσεων γης, περιορίζοντας έτσι σημαντικά τον αριθμό των παραμέτρων που πρέπει να προσδιορισθούν με τη βοήθεια μεθόδων βελτιστοποίησης.

3.3.2. Υπολογισμός της συνολικής απορροής στη περιοχή μελέτης.

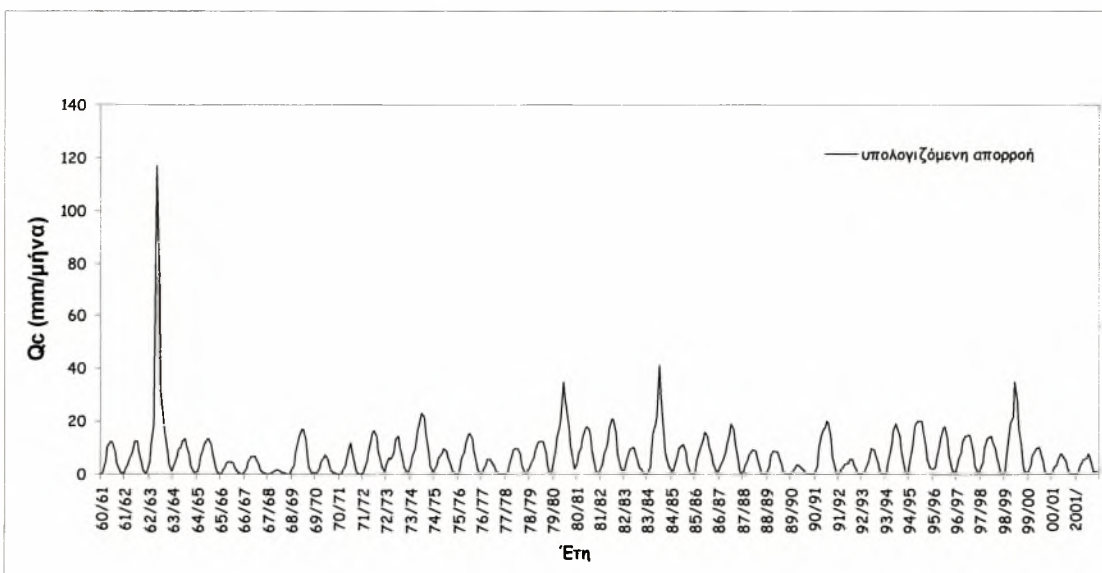
Για την εκτίμηση της συνολικής μηνιαίας απορροής για τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 2001-02 και τη δημιουργία χρονοσειρών με δεδομένα απορροής, για τον υπολογισμό και την ανάλυση του υδρολογικού δείκτη ξηρασίας που περιγράφεται στη παράγραφο 4.2 του 4^{ου} κεφαλαίου, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο υδάτινου ισοζυγίου UTHBAL.

Το μοντέλο θα πρέπει όμως να ρυθμιστεί για κάθε υπολεκάνη της υπό μελέτη περιοχής για να εκτιμηθούν οι παράμετροι του. Δεν υπάρχουν όμως ιστορικά δεδομένα απορροών, οπότε για τον υπολογισμό της συνολικής απορροής χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου που φαίνονται στο Πίνακα 3.5. Οι τιμές αυτές εκτιμήθηκαν από προηγούμενες μελέτες (Loukas et al, 2005, Loukas et al, 2007) και για λεκάνες με παρόμοια γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά.

Πίνακας 3.5. Τιμές των παραμέτρων του μοντέλου UTHBAL για κάθε υπολεκάνη.

ΥΠΟΛΕΚΑΝΗ	Cm	CN	K	a AET	CONMR	CONGROUND
ΛΗΘΑΙΟΣ	2.836	52.24	0.2	0.52	0.118	0.83
ΜΕΣΔΑΝΙ	2.836	52.24	0.2	0.52	0.118	0.83
ΝΕΟΧΩΡΙ	1.972	53.77	0.35	0.51	0.054	0.667
ΠΑΜΙΣΟΣ	5.042	37.44	0.33	0.41	0.029	0.88
ΠΗΝΕΙΟΣ	0.947	51.36	0.4	0.71	0.037	0.852
ΠΛΙΟΥΡΗΣ	5.042	37.44	0.33	0.41	0.029	0.88
ΠΟΡΤΑΪΚΟΣ	5.679	46.26	0.31	0.44	0.01	0.897
ΣΟΦΑΔΙΤΗΣ	7.321	45.14	0.52	0.28	0.166	0.253
ΘΕΟΠΕΤΡΑ	1.972	53.27	0.35	0.51	0.054	0.667
ΤΙΤΑΡΗΣΙΟΣ	4.609	53.04	0.5	0.64	0.023	0.413
ΕΝΙΠΠΕΑΣ	7.763	57.72	0.68	0.41	0.034	0.209
ΦΑΡΣΑΛΙΩΤΗΣ	7.763	57.72	0.68	0.41	0.034	0.209
ΚΑΛΕΝΤΖΗΣ	5.042	37.44	0.33	0.41	0.029	0.88
ΚΟΥΣ/ΝΙΩΤΗΣ	6	30	0.78	0.86	0.003	0.24

Χρησιμοποιώντας λοιπόν το μοντέλο υδάτινου ισοζυγίου UTHBAL και με την εκλογή των παραμέτρων του μοντέλου για κάθε υπολεκάνη δημιουργήσαμε χρονοσειρές απορροών οι οποίες θα αποτελέσουν την βάση για τον υπολογισμό της υδρολογικής ξηρασίας (Κεφάλαιο 4^ο). Στο Σχήμα 3.5 παρουσιάζεται η υπολογιζόμενη απορροή για τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 2001-02 στην υπολεκάνη Πλιούρης. Στο Παράρτημα Α παρουσιάζονται οι χρονοσειρές απορροών όλων των υπό μελέτη υπολεκανών της λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμου.



Σχήμα 3.5. Υδρογράφημα απορροής στην υπολεκάνη του Πλιούρη.

Είναι γεγονός ότι η ξηρασία είναι ένα ακραίο περιβαλλοντικό φαινόμενο με διάφορες μορφές (Wilhite and Glantz, 1985), ανάλογα με την παράμετρο με την οποία εκφράζεται και ανάλογα με το κλίμα της περιοχής που αναφέρεται. Ουσιαστικά το κρίσιμο επίπεδο της μεταβλητής με την οποία εκφράζεται η ξηρασία διαφέρει από περιοχή σε περιοχή. Σύμφωνα με ένα γενικό ορισμό, ξηρασία για ένα υδατικό σύστημα είναι το φαινόμενο κατά την διάρκεια εμφάνισης του οποίου το υδατικό σύστημα βρίσκεται κάτω από ένα κρίσιμο επίπεδο σε σχέση με την κανονική του λειτουργία. Με αυτόν τον γενικό ορισμό, τίγονται όχι μόνο θέματα της προσφοράς του νερού αλλά και εκείνα της ζήτησης και της αποθήκευσης.

Το φαινόμενο της ξηρασίας άρχισε πρόσφατα να απασχολεί το ευρύ κοινό λόγω της λειψυδρίας που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στην χώρα μας αλλά σε μεγάλο βαθμό και στην υπόλοιπη Ευρώπη. Το φαινόμενο της ξηρασίας, σε αντίθεση με αλλά ακραία γεγονότα, όπως πλημμύρες, καταιγίδες κλπ, έχει συνήθως μεγάλη χρονική διάρκεια και σχετίζεται με περιόδους που η διάθεση των υδατικών πόρων βρίσκεται σε ανεπάρκεια (Heavens, 1954, Dracup et al, 1980, Redmond, 2002). Ιδιαίτερα το φαινόμενο της ξηρασίας αναγκάζει συνήθως τις κυβερνήσεις να ανακοινώσουν μέτρα για τον περιορισμό της κατανάλωσης αλλά και να αναγγείλουν νέα έργα για την καλύτερη αξιοποίηση των υδατικών πόρων. Επειδή η ξηρασία είναι ένα φαινόμενο που εντάσσεται στη γενικότερη διακύμανση του κλίματος μιας περιοχής, πολλά από τα μέτρα που αναγγέλλονται κατά την διάρκεια της ξηρασίας ξεχνιούνται μόλις έρθουν οι βροχές. Ως άμεση επίπτωση, μια παρατεταμένη ξηρασία έχει πολλές επιπτώσεις στα υδατικά αποθέματα, στο περιβάλλον και σε όλους τους τομείς της οικονομίας (Wilhite and Glantz, 1985).

Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διάφορες παραδοχές και ορισμούς. Σε κάθε περίπτωση, η προσομοίωση του φαινομένου στο σύνολο του είναι ένα δύσκολο εγχείρημα. Σε γενικές γραμμές, η μελέτη του φαινομένου περιλαμβάνει τόσο την

ανάλυση συχνοτήτων ελάχιστων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα (βροχόπτωση, απορροή κλπ.), όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας (υδατικό έλλειμμα, ελλειμματική επιφάνεια, ένταση κλπ.) Οι δείκτες αυτοί μπορεί να συσχετιστούν με διάφορα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Ως περιοχή μελέτης του φαινομένου, νοείται είτε μια σχετικά εκτεταμένη περιοχή (π.χ. υδρολογική λεκάνη), είτε ένα σύνολο σημειακών πηγών που συνιστούν ένα σύστημα (π.χ. ένας ή περισσότεροι ταμιευτήρες αποθήκευσης νερού που εξυπηρετούν τις υδρευτικές ανάγκες μιας μεγαλούπολης), είτε τέλος ένα μόνο σημείο (π.χ. μετεωρολογικός σταθμός).

4.1 ΔΕΙΚΤΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η ανάλυση της ξηρασίας, σε μια περιοχή, που δε συνοδεύεται από τον υπολογισμό ενός ή περισσότερων δεικτών ξηρασίας μπορεί να παρουσιάζει αδυναμίες. Ένας δείκτης ξηρασίας είναι δόκιμος, όταν παρουσιάζει μία ξεκάθαρη, απλή και ποιοτική ανάλυση των κύριων χαρακτηριστικών της ξηρασίας: την ένταση, τη διάρκεια και τη χωρική έκτασή της (Hayes, 2000). Πολλοί είναι οι δείκτες ξηρασίας που έχουν αναπτυχθεί (Palmer, 1965; Gibbs, 1987; McKee et al., 1993; Meyer et al., 1993). Γενικά, οι δείκτες ξηρασίας, με πιο κοινό τον Palmer Drought Severity Index (PDSI), έχουν χρησιμοποιηθεί ως μέσα καταγραφής της ξηρασίας σε διαφορετικές περιοχές και για διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Τα τελευταία χρόνια, ένας καινούργιος δείκτης, ο Standardized Precipitation Index (SPI), έχει προταθεί με σκοπό τον πιο εύκολο εντοπισμό και την συστηματικότερη καταγραφή των επεισοδίων ξηρασίας. Ο δείκτης SPI αποτελεί μια βελτίωση των προηγούμενων δεικτών ξηρασίας, εφόσον χαρακτηρίζεται από εύκολη χρήση, χρονική και χωρική ευελιξία.

4.1.1 Κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης SPI (Standardized Precipitation Index)

Ο κανονικοποιημένος δείκτης βροχόπτωσης (Standardised Precipitation Index: SPI) αναπτύχθηκε από τον (McKee et al., 1993) στο πανεπιστήμιο του Κολοράντο. Η

φύση του SPI επιτρέπει τον προσδιορισμό της σπανιότητας εμφάνισης της ξηρασίας ή ενός γεγονότος βροχόπτωσης σε συγκεκριμένη χρονική κλίμακα για οποιοδήποτε μέρος του κόσμου στο οποίο υπάρχουν αρχεία κατακρημνισμάτων. Είναι ένας σχετικά απλός δείκτης, ο οποίος βασίζεται μόνο σε δεδομένα βροχόπτωσης και για τον υπολογισμό του χρειάζεται μόνο δυο παραμέτρους. Δεν εξαρτάται από την εδαφική ξηρασία, και μπορεί να εφαρμοστεί εξίσου καλά τόσο το χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Ο SPI επίσης, δεν εξαρτάται από την τοπογραφία της υπό μελέτης περιοχής. Η δυνατότητα να εφαρμόζεται σε ποικίλες χρονικές κλίμακες, του επιτρέπει την περιγραφή της ξηρασίας, για ένα σημαντικό εύρος μετεωρολογικών, γεωργικών και υδρολογικών φαινομένων. Ένα άλλο σπουδαίο πλεονέκτημα του δείκτη SPI, προέρχεται από την κανονικοποίησή του η οποία εγγυάται ότι η συχνότητα ακραίων γεγονότων ξηρασίας σε κάθε τοποθεσία και κάθε χρονική κλίμακα είναι σταθερή.

Ο υπολογισμός του δείκτη SPI βασίζεται σε δεδομένα βροχόπτωσης μιας μακράς χρονικής περιόδου (μεγαλύτερης των 30 ετών). Τα δεδομένα βροχόπτωσης, προσαρμόζονται πάνω σε μια θεωρητική κατανομή πιθανοτήτων, η οποία στην συνέχεια μετασχηματίζεται σε τυπική κανονική κατανομή, με μέσο όρο μηδέν και τυπική απόκλιση ίση με την μονάδα έτσι ώστε οι τιμές του SPI να είναι στην πραγματικότητα η τυπική απόκλιση. Το μέγεθος της απόκλισης από το μηδέν απεικονίζει την πιθανότητα του συμβάντος. Εφόσον οι τιμές του SPI ταιριάζουν σε μια τυπική κανονική κατανομή, αναμένεται ότι σε απόσταση ± 1 από το μέσο όρο θα περιλαμβάνεται το 68% περίπου των περιπτώσεων, στο διάστημα μεταξύ ± 2 η καμπύλη περιλαμβάνει το 95,4% των περιπτώσεων και στο διάστημα ± 3 το 99,7 των περιπτώσεων. Θετικές τιμές SPI υποδηλώνουν βροχόπτωση μεγαλύτερη της μέσης, ενώ αρνητικές τιμές υποδηλώνουν βροχόπτωση μικρότερη της μέσης. Ένα γεγονός ξηρασίας υφίσταται όταν ο δείκτης SPI είναι συνεχώς αρνητικός και η δριμύτητα της ξηρασίας αυξάνει με τον δείκτη SPI να παίρνει τιμές χαμηλότερες του -1. Το γεγονός ξηρασίας λαμβάνει τέλος με το δείκτη SPI να γίνεται θετικός.

Ο δείκτης SPI έχει την ικανότητα να προσδιορίζει το έλλειμμα βροχόπτωσης για πολλαπλές χρονικές κλίμακες. Αυτές οι χρονικές κλίμακες αντανακλούν την επίδραση της ξηρασίας πάνω στην διαθεσιμότητα των υδατικών πόρων. Υδατορεύματα, υπόγεια νερά και δεξαμενές αποθήκευσης αντικατοπτρίζονται από ανωμαλίες της βροχόπτωσης

σε μεγάλες χρονικές κλίμακες ενώ η εδαφική υγρασία σε ανωμαλίες βροχόπτωσης, σε μικρές χρονικές κλίμακες. Αν και πολλές κλίμακες ταξινόμησης του δείκτη SPI έχουν προταθεί κατά καιρούς, η περισσότερο χρησιμοποιούμενη είναι αυτή που φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 4.1 .

Πίνακας 4.1 Κατηγοριοποίηση του καιρού σύμφωνα με τους δείκτες ξηρασίας

Τιμές SPI	Κατηγορίες καιρού
Μεγαλύτερο του 2	Εξαιρετικά υγρός
1,50 έως 1,99	Πολύ υγρός
1,00 έως 1,49	Μέτρια υγρός
-0,99 έως 0,99	Κανονική συνθήκες υγρασίας
-1,00 έως -1,49	Μέτρια ξηρός
-1,50 έως -1,99	Δριμεία ξηρός
Μικρότερο του -2	Ακραία ξηρός

Υπολογισμός: Οι McKee και οι συνεργάτες τους (McKee et al, 1993, McKee et al, 1995) δημιούργησαν το “Standardized Precipitation Index” με σκοπό να οριστεί, να καταγραφεί και να προβλεφθεί η ξηρασία. Πολλά ερευνητικά κέντρα (National Drought Mitigation Center (NDMC), 2002; Western Regional Climate Center (WRCC), 2002) χρησιμοποιούν σήμερα το δείκτη SPI για την καταγραφή και παρακολούθηση των διαφόρων επεισοδίων ξηρασίας. Η φύση του δείκτη SPI επιτρέπει τον εντοπισμό ενός σπάνιου επεισοδίου ξηρασίας ή ενός εξαιρετικά υγρού επεισοδίου που μπορεί να παρατηρηθεί σε οποιοδήποτε περιοχή και οποιαδήποτε χρονική στιγμή, αρκεί να υπάρχουν επαρκή δεδομένα βροχοπτώσεων.

Ο Thom (1958) απέδειξε ότι τα κλιματικά δεδομένα των βροχοπτώσεων ακολουθούν Γάμμα κατανομή. Η συχνότητα ή το κλάσμα της πιθανότητας δίνεται από τη σχέση:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (4.1)$$

όπου

$\alpha > 0$

α είναι παράμετρος της μορφής της καμπύλης

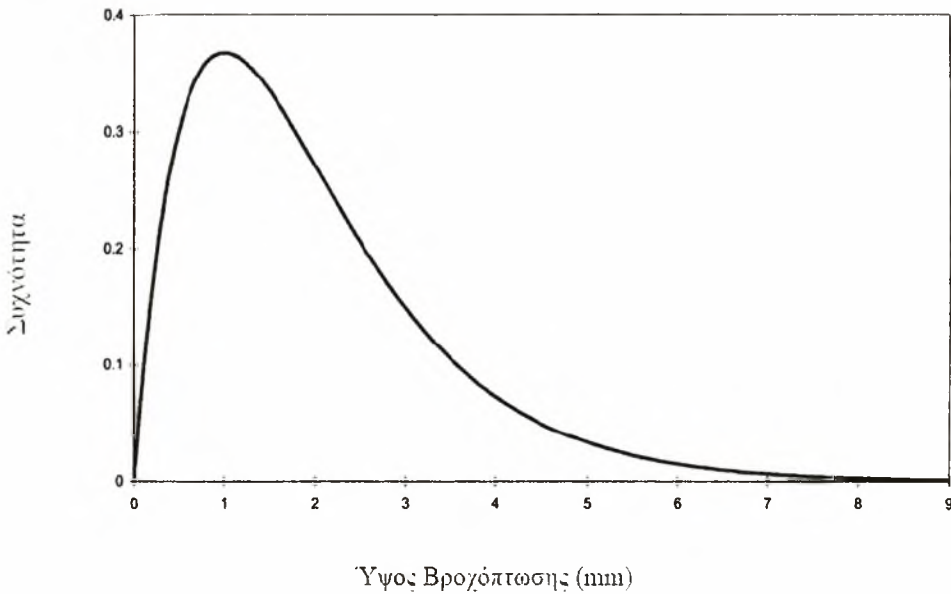
$\beta > 0$

β είναι παράμετρος της κλίμακας του σχήματος

$x > 0$

x είναι το ποσό της βροχόπτωσης

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (4.2)$$



Σχήμα 4.1 Γάμμα κατανομή με παραμέτρους $\alpha=2$ και $\beta=1$

Στο Σχήμα 4.1 απεικονίζεται η κατανομή Γάμμα με παραμέτρους $\alpha=2$ και $\beta=1$. Η κατανομή αυτή είναι ασύμμετρη και το μεγαλύτερο μέρος της βρίσκεται αριστερά και φθίνει σταδιακά, όπως είναι και η κατανομή της συχνότητας της βροχόπτωσης. Στον υπολογισμό του δείκτη SPI περιλαμβάνεται το κλάσμα της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα για το ύψος βροχής κάποιου σταθμού. Οι παράμετροι α και β του κλάσματος της πιθανότητας της κατανομής Γάμμα υπολογίζονται για κάθε υπολεκάνη ξεχωριστά, για

οποιοδήποτε χρονικό διάστημα χρειάζεται (1 μήνες, 9 μήνες, 24 μήνες κ.ο.κ). και για κάθε μήνα του χρόνου. Σύμφωνα με τον Thom (1958), οι παράμετροι αυτοί υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{\frac{4A}{3}} \right) \quad (4.3)$$

$$\beta = \frac{x}{\alpha} \quad (4.4)$$

$$\text{όπου } A = \ln(x) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4.5)$$

και n είναι το πλήθος των παρατηρήσεων της βροχόπτωσης.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των παραμέτρων χρησιμοποιούνται για να βρεθεί μια αθροιστική πιθανότητα ενός γνωστού επεισοδίου βροχής για ένα ορισμένο μήνα και για χρονικό διάστημα που επιθυμείται (1 μήνες, 9 μήνες, 24 μήνες κ.ο.κ) για τον καθορισμένο σταθμό. Η αθροιστική πιθανότητα δίνεται από την σχέση:

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (4.6)$$

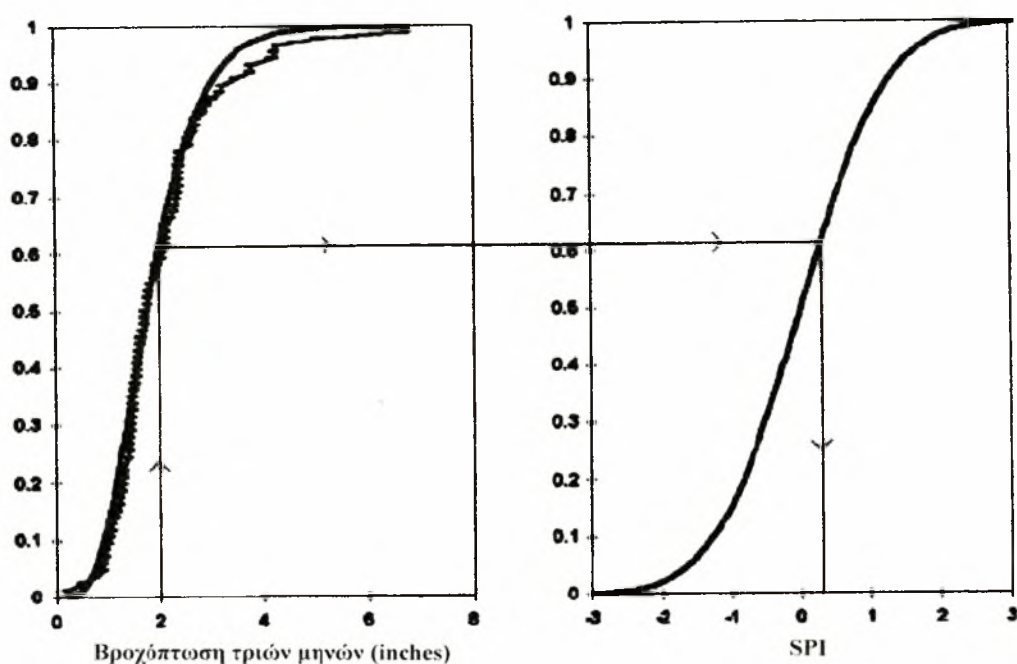
Επειδή η συνάρτηση Γάμμα δεν ορίζεται για $x=0$, ενώ η κατανομή της βροχής μπορεί να πάρει την τιμή μηδέν, η αθροιστική πιθανότητα παίρνει τη μορφή:

$$H(x) = q + (1-q)G(x) \quad (4.7)$$

όπου q είναι η πιθανότητα εμφάνισης μηδενικής βροχόπτωσης. Εάν m είναι το πλήθος των περιπτώσεων με μηδενική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια της χρονοσειράς, τότε ο Thom (1958) έδειξε ότι το q μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση $q = \frac{m}{n}$. Ο Thom (1958) χρησιμοποίησε πίνακες της ελλιπούς συνάρτησης Γάμμα για να ορίσει την αθροιστική πιθανότητα G(x), ενώ αντίθετα οι McKee et al. (1993) ανέπτυξαν αλγόριθμο για να καθορίσουν την αθροιστική πιθανότητα.

Η αθροιστική πιθανότητα, H(x), στη συνέχεια, μετασχηματίζεται σε μία κανονικοποιημένη μεταβλητή z, της οποίας η μέση τιμή είναι μηδέν, ενώ η διακύμανση ισούται με τη μονάδα. Η τιμή αυτή είναι ο δείκτης SPI. Η μετατροπή αυτή αποτελεί

μετατροπή ίσης πιθανότητας σύμφωνα με τους Panofsky and Brier (1958). Οι δύο ερευνητές είχαν τη βασική ιδέα της μετατροπής μιας τιμής από κάποια κατανομή (π.χ. γάμμα κατανομή) σε κατανομή με καθορισμένη μορφή (π.χ. κανονική). Η μετατροπή αυτή γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε η πιθανότητα να υπάρχει μία τιμή μικρότερη από ένα καθορισμένο όριο της πρώτης κατανομής να είναι ίση με την αντίστοιχη πιθανότητα της μετατρεπόμενης κατανομής.



Σχήμα 4.2. Μετασχηματισμός ίσης πιθανότητας από Γάμμα κατανομή σε τυπική κανονική κατανομή

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2, όπου το ποσό της βροχόπτωσης για τρεις μήνες (Ιανουάριο μέχρι Μάρτιο) μετατρέπεται σε μία τιμή του SPI με μέση τιμή το μηδέν και διακύμανση ίση με ένα. Στο αριστερό σχήμα απεικονίζονται οι πραγματικές τιμές της βροχόπτωσης για τους τρεις μήνες (άξονας X) Ιανουάριο μέχρι και Μάρτιο, για το χρονικό διάστημα από 1911 έως 1995. Η διακεκομμένη γραμμή επίσης ορίζει την εμπειρική κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας (άξονας Y) για την περίοδο μελέτης. Η εμπειρική αθροιστική πιθανότητα υπολογίζεται όπως προτείνουν οι Panofsky and Brier (1958), όταν τα δεδομένα της βροχόπτωσης τοποθετούνται με αύξουσα σειρά μεγέθους. Η ομαλοποιημένη καμπύλη στο αριστερό διάγραμμα αντιστοιχεί στην

κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κατανομής Γάμμα που ακολουθούν τα δεδομένα της βροχόπτωσης. Η ομαλή καμπύλη στο δεξιό διάγραμμα ορίζει την κατανομή της αθροιστικής πιθανότητας της κανονικοποιημένης μεταβλητής z , χρησιμοποιώντας την ίδια κλίμακα με το αριστερό διάγραμμα, ενώ στον άξονα X βρίσκονται οι κανονικοποιημένες τιμές της μεταβλητής z (ή οι τιμές του δείκτη SPI). Για παράδειγμα, για να βρεθεί η τιμή του δείκτη SPI, που αντιστοιχεί σε 2 ίντσες βροχόπτωσης, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Από το αριστερό διάγραμμα βρίσκουμε την τιμή 2 ίντσες στον άξονα των X , φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα Y έως την καμπύλη. Από το σημείο αυτό φέρουμε παράλληλη προς τον άξονα X και προεκτείνουμε έως την καμπύλη του δεξιού διαγράμματος. Τέλος, από το σημείο τομής της παράλληλης με την καμπύλη του δεύτερου διαγράμματος φέρουμε κάθετη στον άξονα X με σκοπό να προσδιορίσουμε την τιμή του SPI. Στη περίπτωση αυτή, η τιμή του SPI είναι περίπου +0.3.

Επειδή, όμως, αυτός ο τρόπος μετατροπής είναι επίπονος εφόσον πρέπει να δημιουργηθούν τα αντίστοιχα διαγράμματα για όλους τους σταθμούς, για όλα τα χρονικά διαστήματα και για κάθε μήνα του έτους, η τιμή του z ή SPI είναι πιο εύκολο να υπολογιστεί, χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις (McKee et al., 1993):

$$z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.8)$$

$$z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0 \quad (4.9)$$

όπου :

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad \text{για } 0 < H(x) < 0.5 \quad (4.10)$$

$$t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1 - H(x))^2}\right)} \quad \text{για } 0.5 < H(x) < 1.0 \quad (4.11)$$

$$\begin{aligned} \text{και } c_0 &= 2.515517 & c_1 &= 0.802853 & c_2 &= 0.010328 \\ d_1 &= 1.432788 & d_2 &= 0.189269 & d_3 &= 0.001308 \end{aligned}$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο SPI (ή z) αντιστοιχεί σε μια τιμή τυπικής απόκλισης που είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από τη μέση τιμή. Αυτό δεν ισχύει απόλυτα σε μικρές χρονικές κλίμακες, εξαιτίας του γεγονότος ότι τα ύψη βροχοπτώσεων σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν κάποια λοξότητα.

Είναι γνωστό ότι η χωρική και χρονική διάσταση ενός επεισοδίου ξηρασίας δημιουργεί προβλήματα στη δημιουργία ενός δείκτη ξηρασίας. Μία ανωμαλία στην εμφάνιση της βροχόπτωσης πρέπει να κανονικοποιηθεί σύμφωνα τόσο με το χρόνο εμφάνισής της όσο και με τον τόπο εμφάνισής της, για να μπορεί ο δείκτης να είναι αντιπροσωπευτικός της απεικόνισης του επεισοδίου ξηρασίας. Ο δείκτης SPI συνδυάζει και τα δύο. Ο SPI κανονικοποιείται χωρικά ως προς τον σταθμό, γιατί στον υπολογισμό του προσμετράται, τόσο η κατανομή της συχνότητας εμφάνισης της βροχόπτωσης στο συγκεκριμένο τόπο όσο και η διακύμανση της βροχόπτωσης στην περιοχή. Επιπρόσθετα, ο SPI κανονικοποιείται χρονικά γιατί ο υπολογισμός του μπορεί να γίνει για οποιαδήποτε χρονική κλίμακα ανάλογα με το σκοπό της εκάστοτε ανάλυσης. Ειδικότερα, για μια περιοχή όπου είναι γνωστά τα μηνιαία ύψη βροχόπτωσης, ο SPI μπορεί να υπολογιστεί για κάθε μήνα σε σχέση με τους i προηγούμενους μήνες, όπου $i=1, 2, 3, \dots, 12, \dots, 24, \dots, 48, \dots$ μήνες, ανάλογα με το αντικείμενο της μελέτης. Για παράδειγμα, ο 3μηνών SPI, για τον Ιανουάριο του 1960, χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό του το άθροισμα των υψών βροχόπτωσης για τους μήνες: Νοέμβριο 1959 έως Ιανουάριο 1960. Αντίστοιχα, ο 12μηνών SPI, για τον Ιανουάριο του 1960, χρησιμοποιεί για τον υπολογισμό του το άθροισμα των υψών βροχόπτωσης για τους μήνες: Φεβρουάριος 1959 έως Ιανουάριο 1960.

4.1.2. PDSI (Palmer Drought Severity Index)

Ο δείκτης PDSI (Palmer Drought Severity Index) αναπτύχθηκε από τον Palmer το 1965 στις Ηνωμένες Πολιτείες για την εκτίμηση της μετεωρολογικής ξηρασίας. Ωστόσο αν και ο PDSI είναι ένας δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας για τον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη εκτός από την βροχόπτωση, η εξατμισοδιαπνοή καθώς και η

εδαφική υγρασία η οποία προσδιορίζει την υδρολογική ξηρασία.(η περίοδος κατά την οποία η πραγματική διαθέσιμη ποσότητα νερού είναι μικρότερη από την ελάχιστη διαθέσιμη ποσότητα, η οποία είναι απαραίτητη για την κανονική λειτουργία μιας συγκεκριμένης περιοχής). Ο PDSI είναι αλγόριθμος εδαφικής υγρασίας βαθμονομημένος για σχετικά ομογενείς περιοχές και ειδικά για ημίξηρες και ύφυγρες κλιματικές συνθήκες. Η εφαρμογή του σε συνθήκες πέρα από αυτές στις οποίες σχεδιάστηκε μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένα – μη ρεαλιστικά – συμπεράσματα. Ο δείκτης βασίζεται στη θεώρηση παροχών-αναγκών της εξίσωσης του υδατικού ισοζυγίου και λαμβάνει υπόψη τις παρούσες καιρικές συνθήκες τις συνθήκες υγρασίας του εδάφους καθώς και τις κανονικές κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Όλοι οι βασικοί όροι της εξίσωσης υδατικού ισοζυγίου, συμπεριλαμβανομένης της εξατμισοδιαπνοής της εδαφικής παρακράτησης, της απορροής και των απωλειών στο επιφανειακό στρώμα του εδάφους, μπορούν να καθοριστούν από τα δεδομένα. Οι καιρικές μεταβολές που προκαλούνται από ανθρώπινες δραστηριότητες – όπως η άρδευση – δεν λαμβάνονται υπόψη.

Οι βασικές ιδέες και βήματα που ακολουθούνται για τον υπολογισμό του δείκτη PDSI παρουσιάζονται παρακάτω.

Βήμα 1° Υδρολογικοί υπολογισμοί. Ο υπολογισμός του PDSI αρχίζει με την εκτίμηση του υδατικού ισοζυγίου βασιζόμενου σε μηνιαία βροχομετρικά δεδομένα μακράς σειράς ετών καθώς και σε δεδομένα θερμοκρασίας. Εξαιτίας των δυσκολιών που υπάρχουν στην διαθεσιμότητα της υγρασίας του εδάφους, το έδαφος χωρίζεται σε δυο στρώματα, το ανώτερο και το κατώτερο στρώμα ή ζώνη του ριζοστρώματος. Το επιφανειακό στρώμα θεωρείται ότι περιέχει 25mm της εδαφικής υγρασίας στην υδατοικανότητα και είναι το στρώμα όπου πραγματοποιείται η βροχόπτωση και λαμβάνει χώρα η εξάτμιση. Οι απώλειες λόγω εξάτμισης από το επιφανειακό στρώμα L_s , εκτιμούνται με την μέθοδο του Thornthwaite. Η υγρασία δεν απομακρύνεται από το επιφανειακό ούτε οδηγείται προς τα βαθύτερα στρώματα έως ότου το επιφανειακό στρώμα κορεσθεί. Οι απώλειες από τα βαθύτερα στρώματα, L_u , εξαρτώνται από την περιεχόμενη υγρασία, την υπολογισμένη **δυναμική εξάτμιση (PE)**, και τη διαθέσιμη υδατοικανότητα (available water capacity:AWC) του εδαφικού συστήματος. Αν $PE > P$, τότε

$$L_S = \min [S_S, (PE - P)], \quad (4.12)$$

$$L_U = [(PE - P) - L_S] S_U / AWC, \quad L_U < S_U, \quad (4.13)$$

Όπου S_S και S_U είναι οι ποσότητες της διαθέσιμης αποθηκευμένης υγρασίας στη αρχή κάθε μήνα, στο επιφανειακό και στα υποκείμενα στρώματα αντίστοιχα.

Απορροή υποθέτουμε ότι εμφανίζεται αν και μόνο αν και τα δυο στρώματα βρίσκονται στην υδατοικανότητα. Συμπληρωματικά στην PE , τρεις επιπλέον μεταβλητές χρησιμοποιούνται και καθορίζονται ως εξής:

Δυνητική Επαναφόρτιση, (Potential Recharge: PR) είναι η ποσότητα της υγρασίας που απαιτείται ώστε να φέρει το έδαφος στην υδατοικανότητα και δίνεται από την σχέση.

$$PR = AWC - (S_S + S_U) \quad (4.14)$$

Δυνητικές Απώλειες (Potential loss: PL). Είναι η ποσότητα της υγρασίας η οποία θα μπορούσε να χαθεί από το έδαφος λόγω εξατμισοδιαπνοής κατά την διάρκεια μιας περιόδου μηδενικής βροχόπτωσης. Δίνεται από την σχέση.

$$PL = PL_S + PL_U \quad (4.15)$$

όπου

$$PL_S = \min [PE, S_S] \quad (4.16)$$

$$PL_U = [PE - PL_S] S_U / AWC, \quad PL_U < S_U \quad (4.17)$$

Η δυνητική Απορροή (Potential Runoff: PRO) καθορίζεται από την διαφορά ανάμεσα στο δυνητική βροχόπτωση και στη δυνητική επαναφόρτιση. Η δυνητική βροχόπτωση είναι ίση με την AWC , άρα το PRO δίνεται από την σχέση.

$$PRO = AWC - PR = S_S + S_U \quad (4.18)$$

Βήμα 2: συντελεστές κλίματος. Η βαθμονόμηση του μοντέλου υδατικού ισοζυγίου σε κανονικά επίπεδα ολοκληρώνεται με την προσομοίωση του υδατικού ισοζυγίου σε

περίοδο με διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα θερμοκρασίας και βροχόπτωσης ώστε να παραχθεί η υδατοχωρητικότητα των κατώτερων εδαφικών στρωμάτων καθώς και τέσσερις συντελεστές της μελετούμενης περιοχής. Οι ακόλουθοι των τεσσάρων μηνιαίων όρων υπολογίζεται χρησιμοποιώντας τους τέσσερις δυνητικούς όρους, PE, PR, PRO και PL:

$$a_j = \frac{\overline{ET_j}}{\overline{PE_j}} \quad (4.19)$$

$$b_j = \frac{\overline{R_j}}{\overline{PR_j}} \quad (4.20)$$

$$c_j = \frac{\overline{RO_j}}{\overline{PRO_j}} \quad (4.21)$$

$$d_j = \frac{\overline{L_j}}{\overline{PL_j}} \quad (4.22)$$

Όπου ET η εξατμισοδιαπνοή, R η επαναφόρτιση του εδαφικού νερού, RO η απορροή και L οι ολικές απώλειες νερού από το έδαφος. Η υπεργράμμιση στον αριθμητή υποδηλώνει ότι τα αντίστοιχα μεγέθη είναι οι μέσες τιμές κάθε μήνα j.

Βήμα 3: Τιμές CAFEC. Οι υπολογιζόμενοι συντελεστές χρησιμοποιούνται κατόπιν στην επανάλυση των χρονοσειρών, με σκοπό το προσδιορισμό της ποσότητας υγρασίας που απαιτείται για κανονικές καιρικές συνθήκες κατά την διάρκεια μεμονωμένων μηνών. Ειδικότερα υπολογίζονται οι Κλιματικά Κατάλληλες για τις Υπάρχουσες Συνθήκες. (Climatically Appropriate For Existing Conditions CAFEC) τιμές και συμβολίζονται με (^). Για παράδειγμα η τιμή του CAFEC για ET_j για τον j μήνα είναι:

$$ET_j = a_j \cdot PE_j \quad (4.23)$$

Όπου PE_j είναι η δυνητική εξατμισοδιαπνοή του τρέχοντος μήνα j . Ως εκ τούτου η CAFEC τιμή βροχόπτωσης, P υπολογίζεται από την σχέση:

$$P = a_j \cdot PE + b_j \cdot PR + c_j \cdot PRO - d_j \cdot PL \quad (4.24)$$

Βήμα 4: Δείκτης ανωμαλιών υγρασίας. Για κάθε μήνα j η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική βροχόπτωση και στην CAFEC βροχόπτωση είναι ένας δείκτης του ελλείμματος ή του πλεονάσματος νερού για τον μήνα j , του σταθμού ή της περιοχής μελέτης. Αυτή εκφράζεται ως $D = P - \hat{P}$. Αυτές οι διαφορές (D) μετατρέπονται σε δείκτες ανωμαλιών υγρασίας (Z), γνωστών ως Z -δείκτης του Palmer σύμφωνα με την σχέση

$$Z = K_j \cdot D \quad (4.25)$$

όπου K_j ο συντελεστής βαρύτητας για τον μήνα j , ο οποίος λαμβάνει υπόψη τη χωρική μεταβλητότητα των διαφορών D έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ανεξαρτησία του δείκτη σε σχέση με το χρόνο και το χώρο.

Βήμα 5: Δριμύτητα ξηρασίας Στο τελευταίο βήμα οι χρονοσειρές του δείκτη Z αναλύονται για την ανάπτυξη κριτηρίων που θα καθορίσουν την αρχή και το τέλος περιόδων ξηρασίας καθώς και ενός τύπου προσδιορισμού της δριμύτητας της ξηρασίας. Η μεθοδολογία του Palmer εμπεριέχει τον υπολογισμό για κάθε μήνα, τριών ενδιάμεσων δεικτών $X1$, $X2$, και $X3$ και ενός παράγοντα πιθανότητας. Ο Palmer εκφράζει την έναρξη και την λήξη της ξηρασίας, με όρους πιθανότητας. Η ξηρασία ή κενό υγρασίας τελειώνει οριστικά όταν αυτή η πιθανότητα φθάσει ή υπερβεί το 100%, αλλά η ξηρασία η το κενό υγρασίας θεωρείται ότι λαμβάνει τέλος τον πρώτο μήνα όταν η πιθανότητα γίνεται μεγαλύτερη 0% και εξακολουθεί να παραμένει πάνω από 0% μέχρι να φθάσει το 100%. Κατά την διάρκεια της περιόδου αβεβαιότητας (όταν η πιθανότητα είναι μεταξύ 0% και 100%) το μοντέλο υπολογίζει τους τρεις ενδιάμεσους δείκτες $X1$, $X2$, και $X3$. $X1$ είναι η τιμή του δείκτη για την αρχή του κενού υγρασίας. $X2$ είναι η τιμή του δείκτη για μία αρχόμενη ξηρασία, και $X3$ είναι η τιμή του δείκτη για ένα εγκαθιδρυμένο γεγονός ξηρασίας ή κενού υγρασίας. Όλοι οι ενδιάμεσοι τρεις δείκτες υπολογίζονται χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εμπειρική έκφραση.

$$X_j = 0.897 \cdot X_{j-1} + \frac{Z_j}{3} \quad (4.26)$$

όπου Z_j απεικονίζει την τιμή του δείκτη ανώμαλης υγρασίας ή Z-index για τον j μήνα.

Το μοντέλο του Palmer επιλέγει την τιμή για καθένα από τους ενδιάμεσους δείκτες και τη χρησιμοποιεί στον υπολογισμό του PDSI ανάλογα με την τιμή του παράγοντα πιθανότητας. Για παράδειγμα αν ο παράγοντας πιθανότητας παίρνει τιμή ανάμεσα σε 0 και -1, τότε ο PDSI χρησιμοποιεί τον δείκτη X2 και όταν ο παράγοντας πιθανότητας παίρνει τιμή μεγαλύτερη από 1 ή μικρότερη από -1 τότε ο PDSI χρησιμοποιεί τον δείκτη X3. Ο δείκτης X3, αποκρίνεται πολύ αργότερα από ότι ο PDSI σε αλλαγές εδαφικής υγρασίας, είναι ένας δείκτης για μακράς χρονικής περιόδου υδρολογική ξηρασία, καταστάσεις γνωστές ως Palmer Hydrological Drought Index (PHDI). Η κατηγοριοποίηση του καιρού βάση των PDSI, PHDI, και Z-Index (Palmer, 1965) φαίνεται στο Πίνακα 4.1. Θα πρέπει να διευκρινίσουμε ότι ο δείκτης Z παρέχει μια ένδειξη της εμμονής του φαινομένου της ξηρασίας, ενώ ο PDSI δείχνει την δριμύτητα της ξηρασίας.

Πίνακας 4.2 Κατηγοριοποίηση του καιρού σύμφωνα με τους δείκτες ξηρασίας PDSI, PHDI, και Z-δείκτη (Palmer, 1965).

PDSI, PHDI, Z- δείκτης	Κατηγοριοποίηση καιρού
> 4.00	Υπερβολικά υγρός
3.00 έως 3.99	πολύ υγρός
2.00 έως 2.99	μέτρια υγρός
1.00 έως 1.99	Ήπια υγρός
0.50 έως 0.99	Έναρξη υγρής περιόδου
0.49 έως -0.49	Κοντά στο κανονικό
-0.50 έως -0.99	Έναρξη ξηρασίας
-1.00 έως -1.99	Ήπια ξηρασία
-2.00 έως -2.99	Μέτρια ξηρασία
-3.00 έως -3.99	Δριμεία ξηρασία
< -4.00	Ακραία ξηρασία

4.1.3 PHDI (Palmer Hydrological Drought Severity Index).

Η διαφορά μεταξύ του PHDI με τον PDSI είναι ότι έχει ένα πολύ πιο δυνατό κριτήριο για την εύρεση της εξασθένησης μιας ξηρασίας ή μιας υγρής περιόδου, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα μια σταδιακά αυξανόμενη ανάκτηση του δείκτη σε μια κανονική περίοδο, σε σχέση με αυτή που θα έδινε ο PDSI.

Ειδικότερα ο PDSI αναφέρει ότι ένα επεισόδιο ξηρασίας τελειώνει όταν οι συνθήκες υγρασίας ξεκινούν μια αδιάκοπη και συνεχή αύξηση, η οποία τελικά τερματίζει τα υδατικά ελλείμματα. Σε αντίθεση ο PHDI αναφέρει ότι η ξηρασία τελειώνει όταν εξαφανίζονται τα υγρά ελλείμματα. Αυτό μας βοηθάει στον υπολογισμό της υδρολογικής ξηρασίας το οποίο είναι ένα φαινόμενο το οποίο αναπτύσσεται σε μικρότερη κλίμακα από το φαινόμενο της μετεωρολογικής ξηρασίας.

4.1.4 Z-index (Palmer Moisture Anomaly Index)

Αναφέρεται στην ανωμαλία της υγρασίας για κάθε μήνα, χωρίς να λαμβάνει υπ'όψιν του τις προηγούμενες συνθήκες του χαρακτηρίζουν τον PDSI. Ο Z-index δίνει αποτελέσματα για την γεωργική ξηρασία, αφού προσαρμόζεται εύκολα τις αλλαγές των τιμών της εδαφικής υγρασίας. Ο Karl (1986) βρήκε ότι ο Z-index είναι προτιμότερος για τον προσδιορισμό της ποσότητας της γεωργικής ξηρασίας από τον συχνά χρησιμοποιούμενο CMI (Crop Moisture Index) (Palmer 1968). Ωστόσο, όλοι οι δείκτες του Palmer έτσι και αυτός έχει μια πολύπλοκη διαδικασία για τον υπολογισμό του και είναι ελάχιστα λιγότερο πολύπλοκη από τον PDSI.

4.1.5. Σταθμισμένος δείκτης Palmer - WPLM (Weighted PDSI)

Το 1991 προτάθηκε ο Weighted PDSI από τους Heddinhaus και Sabol (1991), με το κίνητρο του να δημιουργήσουν ένα νέο τρόπο χρήσης του PDSI ως εργαλείο εύρεσης της λειτουργικής υγρασίας.

Λόγω του ότι ο PDSI έχει τη δυνατότητα να αντιστρέφεται (backtracking), δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ευρεθείσες τιμές για να προσδιορίσουν τις κανονικές συνθήκες διότι οι τιμές του μπορούν να αντικατασταθούν με άλλες διαφορετικές τιμές.

Για να φθάσουμε σε ακριβή αποτελέσματα των τρεχόντων συνθηκών θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψιν μας διάφορους παράγοντες.

όπως :

X1: ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΑΡΧΟΜΕΝΗΣ ΥΓΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

X2: ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΑΡΧΟΜΕΝΗΣ ΞΗΡΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

X3: ΔΡΙΜΥΤΗΤΑ ΜΙΑΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

P: Η ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

WPDSI: THE WEIGHED PDSI – ΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟΣ PDSI

Η ιδέα του σταθμισμένου PDSI συμπυκνώνει όλες τις παραπάνω πληροφορίες σε ένα δείκτη έτσι ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια καλύτερη εικόνα για την εύρεση των τρεχόντων συνθηκών από αυτές που δίνει ο κανονικός PDSI.. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του σταθμισμένου PDSI είναι ότι δεν αλλάζει με την πάροδο του χρόνου. Από την στιγμή που υπολογίζεται δεν μπορεί να αλλάξει τιμή, διότι και οι τιμές των 3 ενδιάμεσων δεικτών δεν μπορούν να αλλάξουν. Μόνο ο κανονικός PDSI έχει τη δυνατότητα να πάρει διαφορετικές τιμές κατά την πάροδο του χρόνου, αλλά πάντοτε θα ακολουθεί τις τιμές των 3 ενδιάμεσων δεικτών.

Ο σταθμισμένος PDSI θα διαφέρει από τον κανονικό PDSI μόνο όταν θα υπάρχει η πιθανότητα να αντικατασταθούν οι τιμές του PDSI, και αυτό συμβαίνει όταν η πιθανότητα της τελικής κανονικής περιόδου (P) είναι μεταξύ 0% και 100%. Κατά τη διάρκεια των περιόδων μεταβολής, όταν δηλαδή μια περίοδος φθάνει στο τέλος της και μια νέα ξεκινάει, τότε ο κανονικός PDSI μεταπηδά από τη μια μηδενική πλευρά στην άλλη. Πολλές φορές αυτή η αλλαγή μπορεί να είναι πολύ δραστική, πράγμα βέβαια όχι τόσο ρεαλιστικό, αν λάβουμε υπ'όψιν μας το χρόνο που χρειάζεται για μια μεταβολή υγρασίας σε ξηρασία. Κατά την διάρκεια των ίδιων περιόδων μεταβολών, ο σταθμισμένος PDSI θα μεταβληθεί βαθμιαία από την μια περίοδο στην άλλη, γιατί οι τιμές του είναι σταθμισμένοι μέσοι όροι. Είναι πιθανόν ο Weighted PDSI να

αντιπροσωπεύει καλύτερα την μεταβολή από την υγρασία στην ξηρασία, ενώ ο PDSI να αντιπροσωπεύει καλύτερα την μεταβολή από την ξηρασία στην υγρασία. Παρακάτω παρουσιάζεται αλγόριθμος για τον υπολογισμό του σταθμισμένου δείκτη PDSI (Weighted PDSI).

Υπολογισμός του σταθμισμένου δείκτη PDSI

Ακολουθούνται οι παρακάτω κανόνες:

- Έστω $X3 = 0$

Δεν υπάρχει αποδεδειγμένη περίοδος, έτσι $WPLM = PDSI = X1$ ή $X2$

Εάν $X1 \geq -(X2)$

$$WPLM = X1$$

Εάν $X2 > -(X1)$

$$WPLM = X2$$

- Έστω $P \leq 0.00$ ή $P \geq 1.00$

Δεν υπάρχει αποδεδειγμένη περίοδος, ούτε πιθανότητα αντιστροφής, έτσι

$$WPLM = PDSI = X3$$

$$WPLM = X3$$

- Έστω $0.00 < P < 1.00$

Δεν υπάρχει πιθανότητα αντιστροφής, έτσι $WPLM$ είναι ένας σταθμισμένος μέσος όρος του $X3$ και ενός από τους $X1$ ή $X2$

Εάν $X3 < 0$

Τότε βρισκόμαστε σε περίοδο ξηρασίας, άρα $X3$ και $X1$

$$WPLM = (1-P) * X3 + P * X1$$

Εάν $X3 > 0$

Τότε βρισκόμαστε σε περίοδο ξηρασίας, άρα $X3$ και $X2$

$$WPLM = (1-P) * X3 + P * X2$$

4.1.6. Μετασχηματισμός κλίμακας

Όπως έχουμε αναφέρει στην παραπάνω παράγραφο ο δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας PDSI έχει διαφορετική κλίμακα μέτρησης (Πίνακας 4.2) από τον μετεωρολογικό δείκτη SPI (Πίνακας 4.1). Δεδομένου λοιπόν ότι θα πρέπει να υπάρχει στατιστική σύγκριση των 2 παραπάνω δεικτών θα πρέπει ο PDSI να μετασχηματιστεί στην κλίμακα του SPI. Έτσι λοιπόν τα αποτελέσματα που βρέθηκαν για τους δείκτες PDSI για τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 2001-02 αφαιρώντας τον μέσο όρο τους και διαιρώντας με την τυπική απόκλιση τα φέρνουμε στην κλίμακα του SPI και είναι πλέον συγκρίσιμα για περαιτέρω στατιστική ανάλυση και διεξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

4.2. ΔΕΙΚΤΗΣ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Όπως προηγούμενα αναφέρθηκε το φαινόμενο της ξηρασίας είναι αρκετά σύνθετο τόσο στον υπολογισμό του όσο και στην στατιστική του ανάλυση. Η μεθοδολογία της προηγούμενης παραγράφου μας δίνει μια εικόνα της μετεωρολογικής ξηρασίας μέσω των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας (SPI, PDSI). Όμως για να περιγραφεί το φαινόμενο της ξηρασίας με πληρότητα σε ένα σημείο και ειδικότερα σε μια περιοχή μελέτης, όπως μια λεκάνη, πέραν των μετεωρολογικών δεικτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να εφαρμοστεί ένας επιπλέον δείκτης (Runoff Z-index) ο οποίος περιγράφει το φαινόμενο της ξηρασίας βάσει δεδομένων παροχής. Ο βαθμός συσχέτισης του νέου αυτού δείκτη υδρολογικής ξηρασίας με τους μετεωρολογικούς δείκτες μπορεί να δώσει μια καθαρή εικόνα του κατά πόσο τα γεγονότα ξηρασίας περιγράφονται ικανοποιητικά με την χρήση των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας.

Στη παρούσα μελέτη υπολογίστηκε η συσχέτιση όλων των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασία, δηλαδή του δείκτη SPI για διάφορες χρονικές κλίμακες (1-,3-,6-,9-,12-,24- μηνών) και των δεικτών PALMER (PDSI,PHDI,Z-anomaly,Weighted PDSI),με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας για τις 14 υπολεκάνες της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού.

4.2.1 Υπολογισμός του υδρολογικού δείκτη $Z_{i,j}$ (Runoff Z-index)

Όπως έχει ήδη αναφερθεί διεξοδικά τα δεδομένα βροχόπτωσης βάσει συγκεκριμένης μεθοδολογίας προσαρμόστηκαν σε κανονική κατανομή και ακολούθως η κατανομή αυτή μετασχηματίστηκε στην τυποποιημένη κανονική κατανομή με μέσο όρο 0 και τυπική απόκλιση 1. Η απόσταση κάθε τιμής από τον μέσο όρο εκφραζόμενη σε τυπικές αποκλίσεις δίνει τις τιμές των μετεωρολογικών δεικτών SPI, PDSI. Προκειμένου όμως τα μεγέθη της μετεωρολογικής ξηρασίας να είναι συγκρίσιμα με τα μεγέθη της υδρολογικής ξηρασίας τα οποία είναι βασισμένα σε δεδομένα παροχής θα πρέπει να μετασχηματιστούν κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ταιριάζουν όσο το δυνατόν σε κανονική κατανομή και στη συνέχεια να μετασχηματιστούν σε μια τυποποιημένη κατανομή. Έτσι τα 2 παραπάνω μεγέθη μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας είναι συγκρίσιμα και μπορούν να προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα στην περαιτέρω ανάλυσή μας.

Η μεθοδολογία που εφαρμόστηκε για την προσαρμογή των δεδομένων παροχής σε τυποποιημένη κανονική κατανομή είναι η Box-Cox Transformation (Box-Cox, 1964). Η προσαρμογή έγινε για μηνιαίες χρονοσειρές παροχών για το σύνολο των 42 υδρολογικών ετών (1960-61 έως 2001-02) και για κάθε μια από τις 14 υπολεκάνες της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού.

4.2.2. Μετασχηματισμός Box-Cox (Box-Cox Transformation)

Από τις μέσες μηνιαίες τιμές παροχής κάθε υδρολογικού έτους, των παροχομετρικών σταθμών Πύλης και Λάρισας των αντιστοίχων λεκανών απορροής, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές με τιμές παροχής ανά μήνα, για κάθε έτος. Για κάθε χρονοσειρά μηνιαίων τιμών υπολογίστηκε η μέση τιμή, η τυπική απόκλιση, η ασυμμετρία της χρονοσειράς, καθώς και η διάμεσος.

Κάθε τιμή της χρονοσειράς μέσω του μετασχηματισμού Box-Cox, μετασχηματίζεται στην αντίστοιχη τιμή του $Z_{i,j}$

$$Z_{i,j} = \frac{X_{i,j}^{\lambda_i} - 1}{\lambda_i} \quad \text{για } \lambda_i \neq 0$$

$$Z_{i,j} = \ln(X_{i,j}) \quad \text{για } \lambda_i = 0$$
(4.27)

Ο παραπάνω μετασχηματισμός αποσκοπεί στο μετασχηματισμό των τιμών της απορροής σε τιμές $Z_{i,j}$ οι οποίες ακολουθούν κανονική κατανομή. Όπου $X_{i,j}^A$ η παροχή το i μήνα και j έτος και λ_i ο συντελεστής μετασχηματισμού του οποίου η τιμή του θα πρέπει να υπολογισθεί, ώστε η κατανομή του $Z_{i,j}$ να προσεγγίζει όσο το δυνατόν την κανονική κατανομή.

Για κάθε τιμή της χρονοσειράς υπολογίστηκε η πιθανότητα υπέρβασης από την σχέση :

$$P = \frac{n}{m+1} \quad (4.28)$$

όπου P η πιθανότητα υπέρβασης, n το πλήθος των παρατηρήσεων του κάθε δείγματος (στην περίπτωση μας, $n=34$) και m η σειρά κατάταξης κάθε παρατήρησης.

Από την πιθανότητα υπέρβασης P , υπολογίστηκε η πιθανότητα μη υπέρβασης από την σχέση :

$$P(X < x) = 1 - P \quad (4.39)$$

Ακολούθησε ο υπολογισμός της συνάρτησης αθροιστικής κατανομής για κάθε τιμή $Z_{i,j}$, η οποία δίνει την πιθανότητα η τυχαία τιμή $Z_{i,j}$, που ακολουθεί κανονική κατανομή, να έχει τιμή μικρότερη ή ίση με την τιμή $Z_{i,j}$ (πιθανότητα μη υπέρβασης), καθώς και ο υπολογισμός της πιθανότητας η τιμή του $Z_{i,j}$ να έχει τιμή μεγαλύτερη της $Z_{i,j}$ (πιθανότητα υπέρβασης). Η διάφορα των πιθανοτήτων μη υπέρβασης, υψωμένη στο τετράγωνο αποδίδει ένα σύνολο τιμών, από το οποίο εξάγουμε το άθροισμα το οποίου η ελαχιστοποίηση προσδιορίζει την τιμή του λ στην εξίσωση (4.27).

Ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η σύγκριση των μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας (SPI, PDSI) με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας (Runoff Z-index) που αναπτύχθηκε στο 4^ο Κεφάλαιο. Για την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων έγιναν οι παρακάτω αναλύσεις: Ανάλυση συσχέτισης για όλη τη χρονοσειρά αλλά και μηνιαίας συσχέτισης του υδρολογικού δείκτη με τους μετεωρολογικούς για τον εντοπισμό του πιο αντιπροσωπευτικού. Επίσης έγινε χρονική και χωρική ανάλυση για συγκεκριμένα γεγονότα ξηρασίας για τον υπολογισμό μέσης, μέγιστης δριμύτητας καθώς και της διάρκειάς τους.

5.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Για την εύρεση του βαθμού συσχέτισης μεταξύ του δείκτη $Z_{i,j}$ και των δεικτών SPI για κάθε χρονική κλίμακα και PDSI χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής συσχέτισης ρ (εξίσωση 5.1).

$$\rho = \frac{Cov(Z_{i,j}, (PDSI, SPI))}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{Cov(Z_{i,j}, (PDSI, SPI))}{\sqrt{Var(Z_{i,j}) \cdot Var(PDSI, SPI)}} \quad (5.1)$$

Όπου $Cov(Z_{i,j}, (PDSI, SPI)) = \frac{1}{N} \sum (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$ η συνδιακύμανση των μεταβλητών $Z_{i,j}$ και $(PDSI, SPI)$, με μ_x και μ_y οι αριθμητικοί μέσοι των τιμών της $Z_{i,j}$ και $(PDSI, SPI)$ αντίστοιχα και σ_x , σ_y οι αντίστοιχες τυπικές αποκλίσεις των μεταβλητών $Z_{i,j}$, $(PDSI, SPI)$ είναι $Var(Z_{i,j}) = \sigma_x^2$, $Var(SPI) = \sigma_y^2$.

Η παραπάνω ανάλυση εκφράζεται μέσω πινάκων συσχέτισης (correlation matrix) και μας δείχνει πόσο αντιπροσωπευτικός είναι ο δείκτης της μετεωρολογικής ξηρασίας

σε σχέση με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας. Η ανάλυση έγινε για τις 14 υπολεκάνες της ευρύτερης λεκάνης απορροής του Πηνειού ποταμού και για όλους τους μετεωρολογικούς δείκτες ξηρασίας που αναλύθηκαν (SPI (1-,3-,6-,9-,12-,24- μηνών),PDSI,PHDI,Z-anomaly index,Weighted PDSI) και παρουσιάζεται στο Πίνακα 5.1.

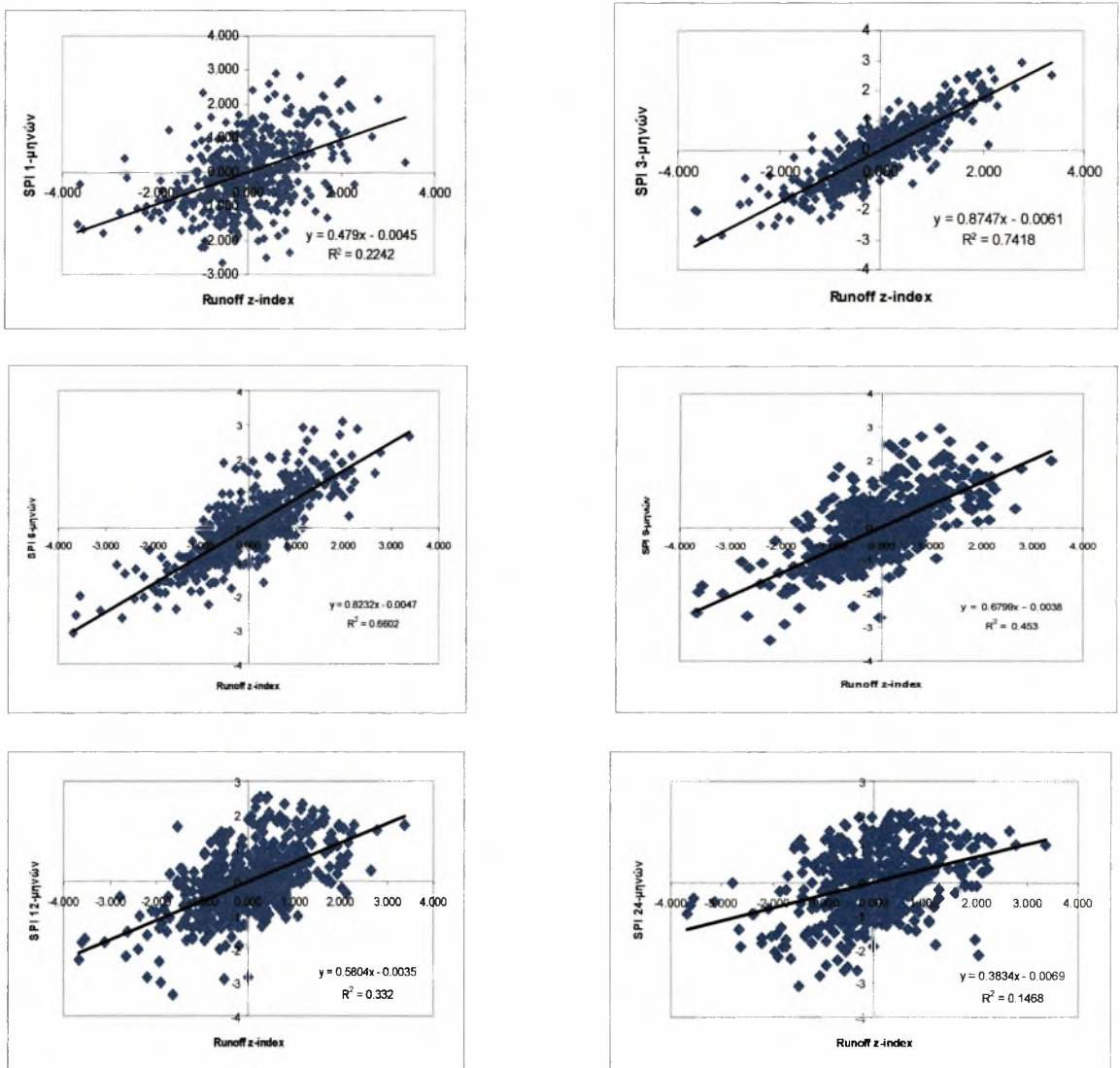
Πίνακας 5.1 Συσχέτιση ανάμεσα σε μετεωρολογική και υδρολογική ξηρασία.

Λεκάνη	PDSI	PHDI	WPLM	PDSI z-index	SPI 1- mon	SPI 3- mon	SPI 6- mon	SPI 9- mon	SPI 12- mon	SPI 24- mon
Ενιππέας	0.78	0.73	0.80	0.71	0.47	0.86	0.81	0.67	0.58	0.38
Φαρσαλιώτης	0.80	0.73	0.81	0.70	0.44	0.84	0.80	0.68	0.57	0.37
Καλέντζης	0.80	0.80	0.85	0.58	0.35	0.76	0.85	0.80	0.75	0.60
Κουσ/νιώτης	0.63	0.63	0.64	0.35	0.21	0.46	0.65	0.73	0.77	0.77
Ληθαίος	0.76	0.70	0.78	0.73	0.52	0.91	0.82	0.70	0.61	0.44
Μεσδάνι	0.76	0.70	0.81	0.71	0.59	0.86	0.70	0.56	0.49	0.38
Νεοχώρι	0.79	0.75	0.82	0.70	0.46	0.86	0.84	0.76	0.69	0.49
Πάμισος	0.76	0.75	0.80	0.63	0.49	0.81	0.74	0.62	0.55	0.44
Πηνειός	0.77	0.72	0.78	0.68	0.45	0.83	0.81	0.68	0.60	0.41
Πλιούρης	0.82	0.77	0.81	0.75	0.49	0.79	0.92	0.89	0.85	0.64
Πορταϊκός	0.73	0.69	0.78	0.72	0.62	0.82	0.64	0.52	0.46	0.37
Σοφαδίτης	0.67	0.60	0.67	0.62	0.41	0.76	0.73	0.64	0.56	0.39
Θεόπετρα	0.80	0.76	0.82	0.71	0.49	0.87	0.85	0.76	0.69	0.52
Τιταρήσιος	0.77	0.73	0.80	0.67	0.46	0.80	0.81	0.74	0.64	0.51

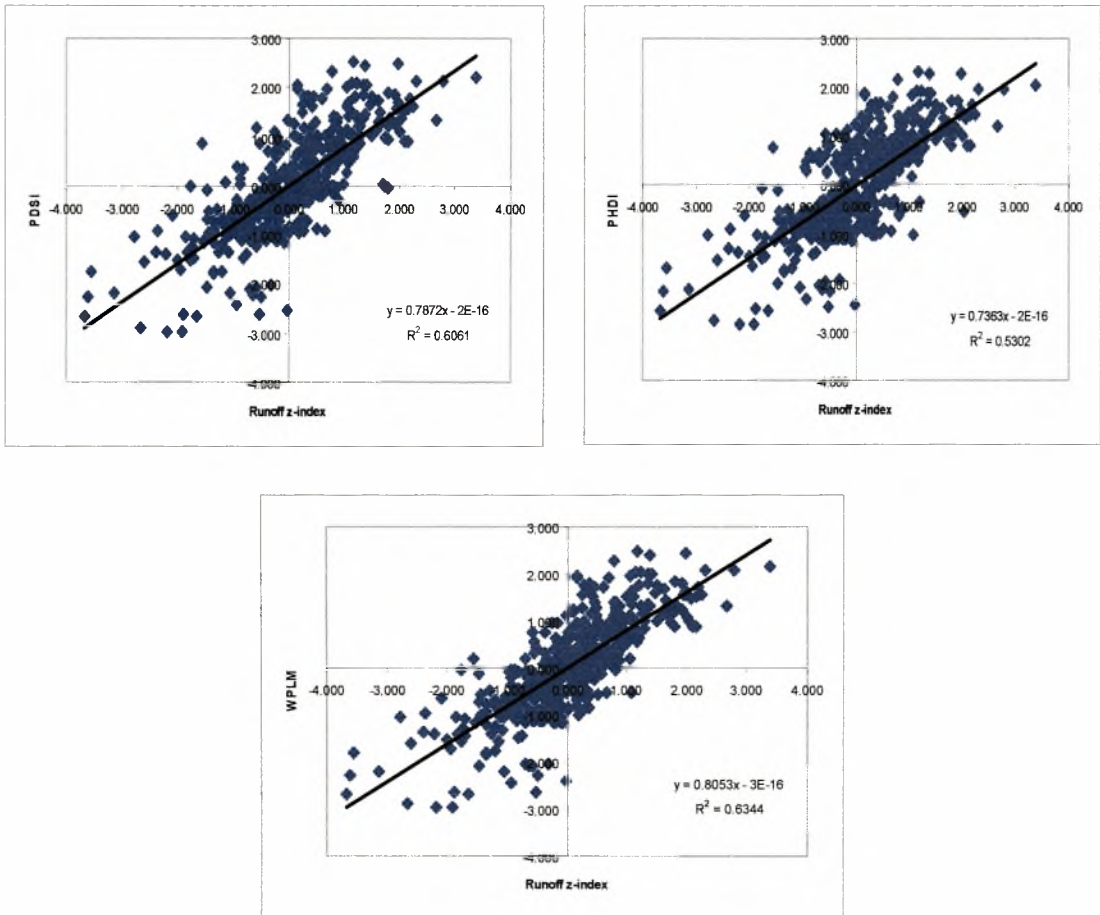
Μετά την εξαγωγή του πίνακα συσχέτισης φαίνεται ότι από τους μετεωρολογικούς δείκτες PDSI καλύτερο συντελεστή συσχέτισης έδωσε ο σταθμισμένος δείκτης PDSI (WPLM) ενώ από τον μετεωρολογικό δείκτη ξηρασίας SPI τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά όσο αφορά την χρονική κλίμακα του SPI.

Πιο συγκεκριμένα για τις περισσότερες υπολεκάνες που αρκετά μεγάλο ποσοστό της έκτασης τους βρίσκεται σε ορεινές περιοχές όπως υπολεκάνες Ενιππέας, Φαρσαλιώτης, Ληθαίος, Μεσδάνι, Νεοχώρι, Πάμισος, Πορταϊκός, Πηνειός, Σοφαδίτης και Θεόπετρα καλύτερη συσχέτιση έδωσε ο SPI 3-μηνων. Όσο άφορα τις υπολεκάνες Πλιούρης, Καλέντζης και Τιταρήσιος που βρίσκονται σε χαμηλότερο υψόμετρο μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης έδωσε ο SPI 6-μηνών. Ωστόσο η υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη με δεδομένο ότι βρίσκεται σε πεδινή περιοχή χωρίς υψομετρικές

διαφορές και μικρή επιφανειακή απορροή (Παράρτημα Α) έδειξε ότι μεγαλύτερος συντελεστής συσχέτισης και στην ουσία πιο αντιπροσωπευτικός είναι αυτός τις μεγάλης χρονικής κλίμακας SPI (12-,24- μηνών). Η ανάλυση συσχέτισης που έγινε προηγουμένως αναφέρεται σε όλη την χρονοσειρά των μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας και του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας. Η γραφική αποτύπωση μέσω διαγραμμάτων διασποράς, (Σχήμα 5.1,5.2) για την λεκάνη του Ενιππέα, αποδεικνύει ότι ο σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM) και SPI 3-μηνών επιβεβαίωσαν την καλύτερη συσχέτιση τους με τους υπόλοιπους δείκτες που εξετάστηκαν.



Σχήμα 5.1. Διάγραμμα διασποράς του δείκτη SPI για διάφορες κλίμακες με τον υδρολογικό δείκτη Zij για την υπολεκάνη του Ενιππέα.

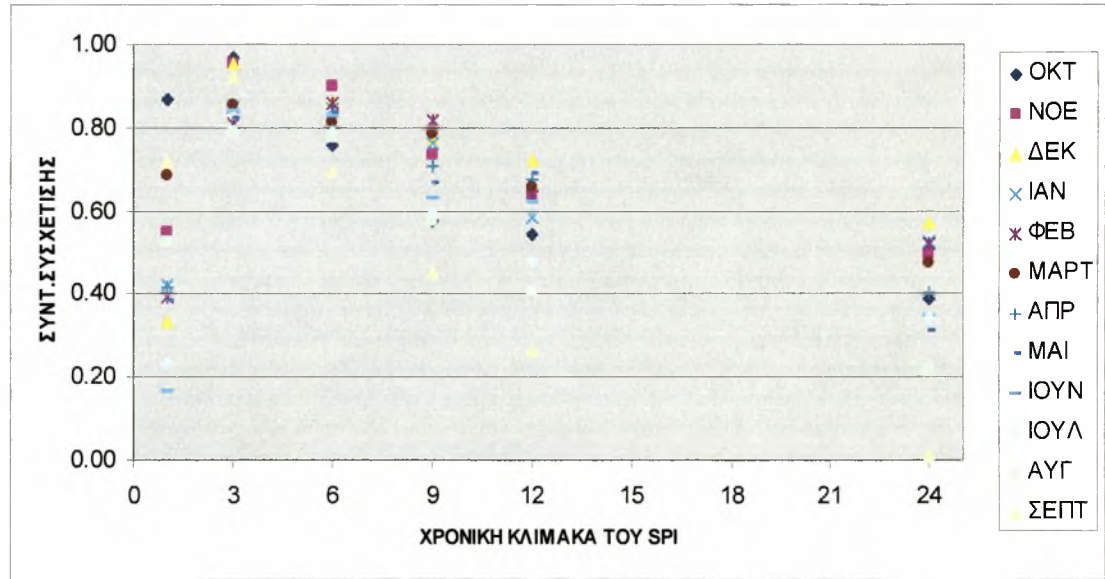


Σχήμα 5.2. Διάγραμμα διασποράς των δεικτών Palmer με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για τη λεκάνη του Ενιπέα..

Αν η ανάλυση αυτή γίνει σε μηνιαία βάση για τους 12 μήνες κάθε υδρολογικού έτους για τα 42 χρόνια (1960-61 έως 2001-02) μας δείχνει ότι και πάλι ο αντίστοιχος δείκτης που αντιπροσωπεύει και έχει τον μεγαλύτερο συντελεστή συσχέτισης είναι αυτός που βρέθηκε στην εκάστοτε υπολεκάνη για την ίδια χρονική κλίμακα. Ο Πίνακας 5.2 παρουσιάζει το μηνιαίο συντελεστή συσχέτισης για την λεκάνη του Ενιπέα. Φαίνεται λοιπόν ότι ο δείκτης WPLM και ο SPI 3-μηνών αντιπροσωπεύουν καλύτερα την υδρολογική ξηρασία. Παρόμοια αποτελέσματα υπολογίστηκαν και για τις υπόλοιπες δεκατρείς υπολεκάνες της περιοχής μελέτης.(Παράρτημα Β)

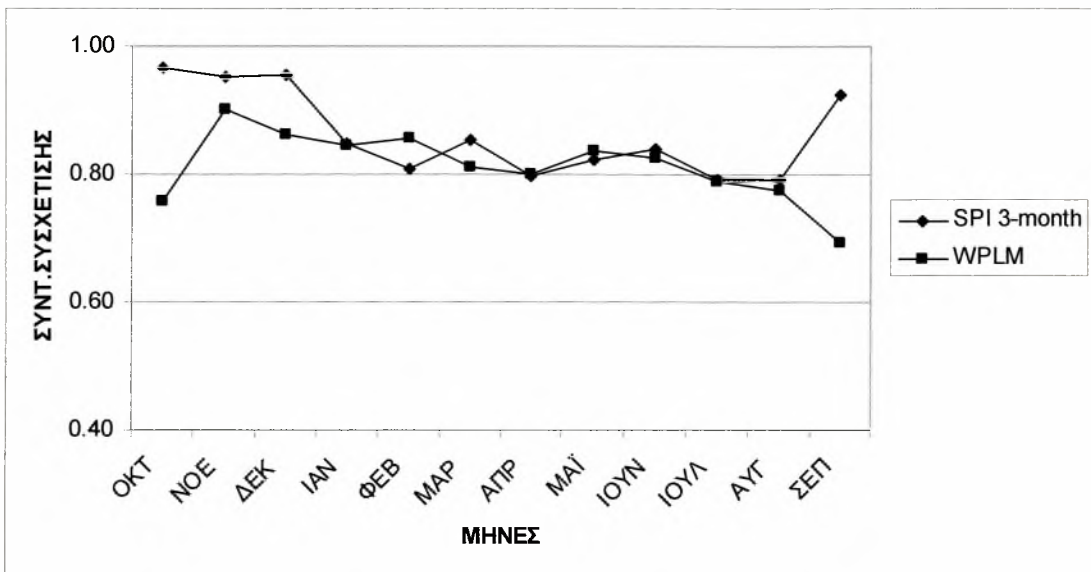
Πίνακας 5.2 Μηνιαίες τιμές του συντελεστή συσχέτισης ανάμεσα στον $Z_{i,j}$ και στους WPLM, SPI για διάφορες κλίμακες στη λεκάνη του Ενιππέα.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
1	0.87	0.55	0.33	0.42	0.39	0.68	0.42	0.38	0.16	0.23	0.52	0.72
3	0.97	0.95	0.96	0.85	0.81	0.85	0.80	0.82	0.84	0.79	0.79	0.92
6	0.76	0.90	0.86	0.84	0.86	0.81	0.80	0.84	0.83	0.79	0.78	0.69
9	0.58	0.74	0.78	0.76	0.82	0.79	0.71	0.67	0.63	0.59	0.58	0.45
12	0.54	0.64	0.72	0.58	0.64	0.66	0.67	0.69	0.62	0.48	0.41	0.27
24	0.39	0.50	0.57	0.52	0.52	0.48	0.40	0.31	0.35	0.34	0.22	0.01
WPLM	0.76	0.90	0.86	0.84	0.86	0.81	0.80	0.84	0.83	0.79	0.78	0.69



Σχήμα 5.1 Συντελεστής συσχέτισης ανάμεσα σε μηνιαίες τιμές του υδρολογικού δείκτη $Z_{i,j}$ και σε μηνιαίες τιμές του SPI-3 μηνών για την υπολεκάνη του Ενιππέα.

Υπάρχουν σημαντικές εποχιακές διαφορές στην ανταπόκριση του υδρολογικού με τον δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας SPI και WPLM. Υψηλές συσχετίσεις στη συγκεκριμένη υπολεκάνη ($r>0.85$) βρέθηκαν κατά την διάρκεια του φθινοπώρου και στις αρχές του χειμώνα για τον SPI ενώ ο δείκτης WPLM έδειχνε χαμηλότερες τιμές. Ωστόσο την περίοδο της άνοιξης και του καλοκαιριού ο δείκτης WPLM δείχνει την ίδια συμπεριφορά (συσχέτιση) με τον SPI όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Μηνιαία μεταβολή της συσχέτισης των δεικτών SPI 3-μηνών και WPLM για την υπολεκάνη του Ενιππέα..

Εφαρμόζοντας την ίδια διαδικασία στις υπολεκάνες όπου ο μετεωρολογικός δείκτης SPI 3-μηνων είχε την καλύτερη συσχέτιση μας έδωσε ίδια αποτελέσματα, δηλαδή την περίοδο του φθινοπώρου και αρχές του χειμώνα ο SPI έχει καλύτερη συσχέτιση ενώ την άνοιξη και το καλοκαίρι και οι δυο μετεωρολογικοί δείκτες δείχνουν σχεδόν ίδια συσχέτιση. Τα αποτελέσματα δίνονται στο Παράρτημα Β.

5.2. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΔΡΙΜΥΤΗΤΑΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΓΕΓΟΝΟΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.

Για την χρονική ανάλυση και σύγκριση των μετεωρολογικών δεικτών (SPI, PDSI) με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} απομονώθηκαν τα γεγονότα ξηρασίας, δηλαδή τιμές των δεικτών μικρότερες ή ίσες του -1, δημιουργώντας περιόδους ξηρασίας τόσο με μικρή όσο και με μεγάλη διάρκεια. Η ανάλυση έγινε με τους μετεωρολογικούς δείκτες που είχαν την καλύτερη συσχέτιση για κάθε υπολεκάνη που παρουσιάστηκαν στην Παράγραφο 5.1.

Όπως φαίνεται από το Πίνακα 5.3 και με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας να καθορίζει τον μέσο χαρακτήρα των περιόδων ξηρασίας, είχαμε διαφορετικά αποτελέσματα στις υπό μελέτη λεκάνες. Λεκάνες όπως Ενιπέας, Ληθαίος Νεοχώρι, Θεόπετρα και Τιταρήσιος οι μετεωρολογικοί δείκτες SPI και σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM) χαρακτήρισαν την περίοδο σαν δριμεία ξηρασία όπως ακριβώς και ο υδρολογικός δείκτης. Ακόμη στις λεκάνες Καλέντζης, Πλιούρης και Πορταϊκός ο δείκτης SPI ταυτίζεται με τον υδρολογικό δείκτη (δριμεία ξηρασία) ενώ ο WPLM δείχνει μέτρια ξηρασία. Ωστόσο στις λεκάνες Φαρσαλιώτης, Κουσμπασανιώτης, Πηνειός και Σοφαδίτης ενώ ο υδρολογικός δείκτης Z δείχνει δριμεία ξηρασία οι μετεωρολογικοί SPI και WPLM δείχνουν μέτρια ξηρασία. Την ίδια όμως διάφορα έχουμε και στις εναπομένουσες δυο λεκάνες Μεσδάνι και Πάμισος όπου ο δείκτης υδρολογικής ξηρασίας δείχνει μέτρια ξηρασία ενώ οι δείκτες μετρολογικής WPLM και SPI για την μεν πρώτη λεκάνη δείχνουν δριμεία ξηρασία ενώ για την δεύτερη λεκάνη ο WPLM χαρακτηρίζει την περίοδο μέτρια και ο SPI δριμεία.

Πίνακας 5.3. Μέση δριμύτητα ξηρασίας από το σύνολο των γεγονότων ξηρασίας.

Λεκάνη	Runoff Z-index	WPLM	SPI
Ενιππέας	-1.66	-1.57	-1.5
Φαρσαλιώτης	-1.57	-1.47	-1.47
Καλέντζης	-1.69	-1.43	-1.61
Κουσ/νιώτης	-1.6	-1.37	-1.48
Ληθαίος	-1.54	-1.62	-1.5
Μεσδάνι	-1.47	-1.57	-1.62
Νεοχώρι	-1.56	-1.53	-1.54
Πάμισος	-1.43	-1.4	-1.57
Πηνειός	-1.5	-1.44	-1.44
Πλιούρης	-1.51	-1.41	-1.55
Πορταϊκός	-1.51	-1.42	-1.55
Σοφαδίτης	-1.61	-1.27	-1.31
Θεόπετρα	-1.55	-1.51	-1.56
Τιταρήσιος	-1.5	-1.59	-1.61

Πίνακας 5.4 Αναγνώριση γεγονότων και μέσης διάρκειας γεγονότων ξηρασίας.

Λεκάνη	Δείκτης	Μέτρια ξηρασία		Δρυής ξηρασία		Ακραία ξηρασία		Μέση Διάρκεια (μήνες)
		Γεγονότα	Ποσοστό %	Γεγονότα	Ποσοστό %	Γεγονότα	Ποσοστό %	
Ενιππέας	SPI- 3 μηνών	20	62.5	9	28.1	3	9.4	2.4
	WPLM	14	87.5	1	6.3	1	6.3	4.2
	Runoff z-index	15	60.0	8	32.0	2	8.0	2.4
Φαρσαλιώτης	SPI- 3 μηνών	20	66.7	9	30.0	1	3.3	2.7
	WPLM	16	88.9	1	5.6	1	5.6	4.3
	Runoff Z-index	17	68.0	5	20.0	3	12.0	2.8
Καλέντζης	SPI- 6 μηνών	13	61.9	7	33.3	1	4.8	3.6
	WPLM	10	71.4	4	28.6	0	0.0	6.9
	Runoff z-index	6	37.5	8	50.0	2	12.5	4.1
Κουσι/νιώτης	SPI- 24 μηνών	9	81.8	2	18.2	0	0.0	6.9
	WPLM	9	90.0	1	10.0	0	0.0	7.6
	Runoff z-index	7	87.5	0	0.0	1	12.5	8.1
Ληθαίος	SPI- 3 μηνών	17	56.7	12	40.0	1	3.3	2.8
	WPLM	12	80.0	2	13.3	1	6.7	4.7
	Runoff z-index	16	64.0	8	32.0	1	4.0	3.0
Μεσδάνι	SPI- 3 μηνών	16	50.0	12	37.5	4	12.5	2.4
	WPLM	15	71.4	6	28.6	0	0.0	3.7
	Runoff z-index	21	70.0	8	26.7	1	3.3	2.7
Νεοχώρι	SPI- 3 μηνών	22	62.9	10	28.6	3	8.6	2.3
	WPLM	8	72.7	3	27.3	0	0.0	7.7
	Runoff z-index	12	66.7	5	27.8	1	5.6	4.1
Πάμισος	SPI- 3 μηνών	21	55.3	16	42.1	1	2.6	2.1
	WPLM	16	84.2	3	15.8	0	0.0	4.1
	Runoff z-index	27	75.0	9	25.0	0	0.0	2.4
Πηγειός	SPI- 3 μηνών	22	64.7	12	35.3	0	0.0	2.5
	WPLM	12	80.0	3	20.0	0	0.0	5.8
	Runoff z-index	20	76.9	5	19.2	1	3.8	2.9
Πλιούρης	SPI- 6 μηνών	11	61.1	6	33.3	1	5.6	4.7
	WPLM	7	77.8	2	22.2	0	0.0	12.4
	Runoff z-index	12	57.1	8	38.1	1	4.8	3.7
Πορταϊκός	SPI- 3 μηνών	26	66.7	10	25.6	3	7.7	2.1
	WPLM	16	80.0	4	20.0	0	0.0	3.7
	Runoff z-index	29	74.4	7	17.9	3	7.7	1.9
Σοφαδίτης	SPI- 3 μηνών	23	65.7	11	31.4	1	2.9	2.2
	WPLM	8	66.7	3	25.0	1	8.3	5.9
	Runoff z-index	15	68.2	5	22.7	2	9.1	2.3
Θεόπετρα	SPI- 3 μηνών	21	63.6	10	30.3	2	6.1	2.5
	WPLM	8	80.0	1	10.0	1	10.0	9.5
	Runoff z-index	14	63.6	6	27.3	2	9.1	3.4
Τιταρήσιος	SPI- 6 μηνών	12	60.0	7	35.0	1	5.0	3.7
	WPLM	13	86.7	1	6.7	1	6.7	5.0
	Runoff z-index	17	77.3	3	13.6	2	9.1	3.4

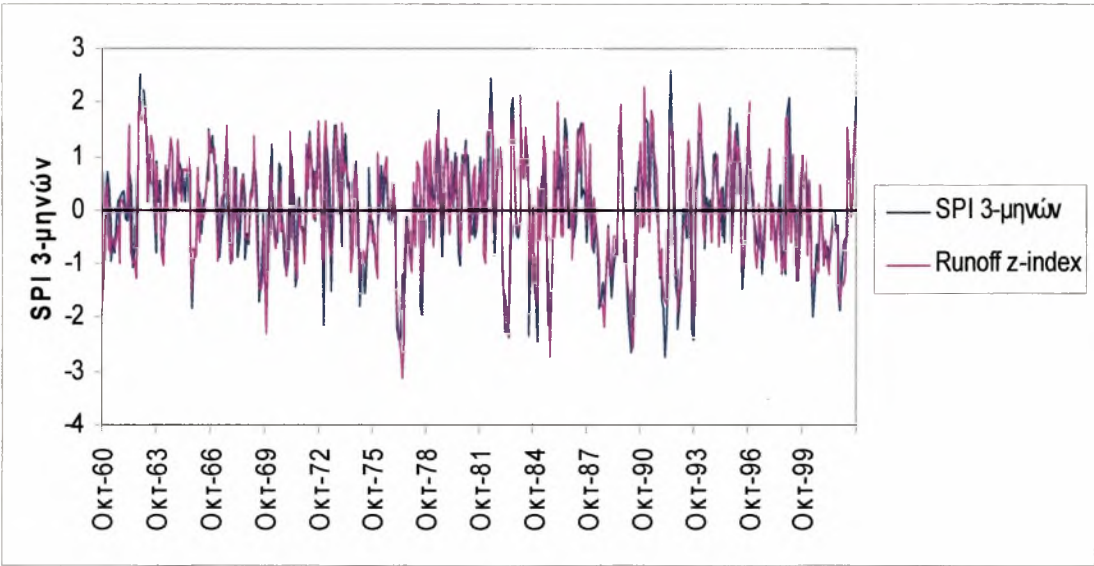
Η εκτίμηση των μετεωρολογικών δεικτών που είχαν την μεγαλύτερη συσχέτιση με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} και μετά την απομόνωση των γεγονότων ξηρασίας δείχνει ξεκάθαρα (Πίνακας 5.4) πως όλη η περιοχή μελέτης πλήττεται από επίμονες και σημαντικές ξηρασίες. Όπως φαίνεται παραπάνω όλες οι λεκάνες πλήττονται σε μεγαλύτερο ποσοστό από μέτρια ξηρασία με ελάχιστη τιμή 37.5% στη λεκάνη του Καλέντζη και μέγιστη (87.5%) στην λεκάνη του Κουσμπασανιώτη. Ακολουθώντας σημαντικά ποσοστά παρουσιάζονται σε φαινόμενα δριμείας ξηρασίας με ελάχιστη 13.6% στην λεκάνη του Τιταρήσιου και μέγιστη 50% στην λεκάνη του Καλέντζη. Τα ακραία φαινόμενα ξηρασίας είναι σημαντικά μικρότερα από τα δυο προηγούμενα τόσο σε

αριθμό γεγονότων όσο και σε ποσοστό εμφάνισης τους. Ελάχιστη τιμή παρουσιάζεται στη λεκάνη του Πηνειού 3.9% ενώ μέγιστη τιμή εμφανίζουν οι λεκάνες του Κουσπασανιώτη, Καλέντζη και Φαρσαλιώτη, ενώ στη λεκάνη του Πάμισου δεν παρατηρούνται φαινόμενα ακραίας ξηρασίας.

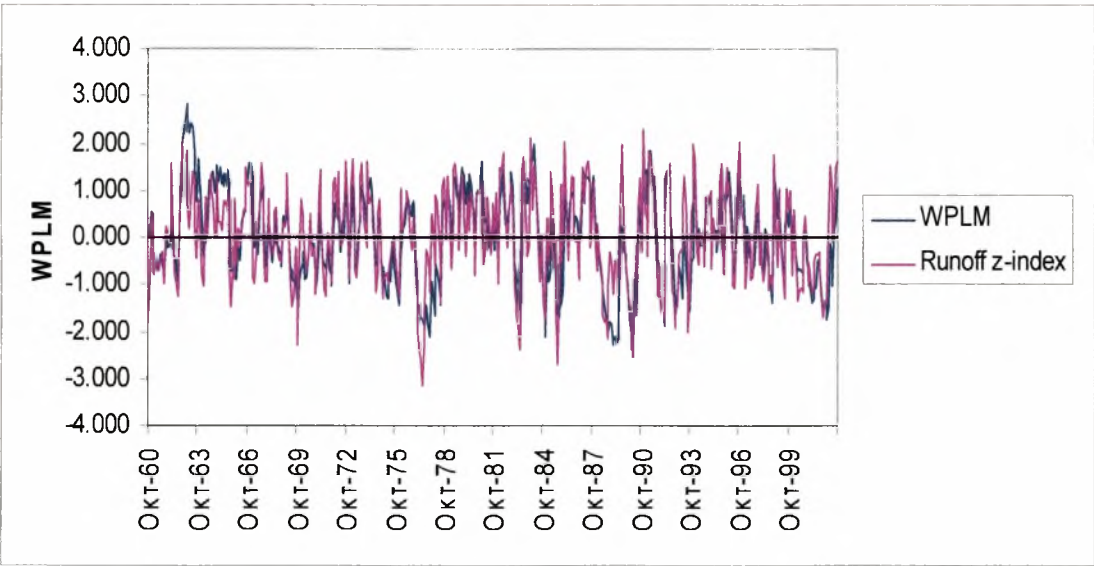
Η μέση διάρκεια των γεγονότων κυμαίνεται από 1.9 μήνες (Πορταϊκός) έως 8.1 μήνες (Κουσμπασανιώτης). Αξίζει να σημειωθεί ότι σε αυτή τη λεκάνη δεν παρατηρούνται καθόλου φαινόμενα δριμείας ξηρασίας αλλά μόνο μέτριας και ακραίας ξηρασίας.

Ωστόσο γίνεται φανερό ότι ο δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας SPI, οποία και αν είναι η χρονική του κλίμακα, συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} τόσο σε ποσοστό εμφάνισης όσο και σε διάρκεια. Αντίθετα ο σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM) δίνει διαφορετικά αποτελέσματα κυρίως στο ποσοστό της μέτριας ξηρασίας σε όλες τις υπό μελέτη λεκάνες. Όσο αφορά όμως τον αριθμό των γεγονότων αναδεικνύει την ίδια δυναμική με τον SPI. Εμφανώς ελαττωμένα είναι και τα γεγονότα δριμείας ξηρασίας αλλά και ακραίων γεγονότων με τα ποσοστά τους επίσης να έχουν υποστεί μεγάλη μείωση. Αξίζει να παρατηρηθεί ότι η μέση διάρκεια που εμφανίζουν τα γεγονότα δείχνει σημαντική αύξηση, τουλάχιστον διπλάσια, απ'ότι δείχνει ο SPI. Από τα παραπάνω γίνεται ξεκάθαρο ότι ο μετεωρολογικός δείκτης SPI αντικατοπτρίζει καλύτερα την εικόνα που παρουσιάζει ο υδρολογικός δείκτης Z_{ij} απ'ότι ο σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM).

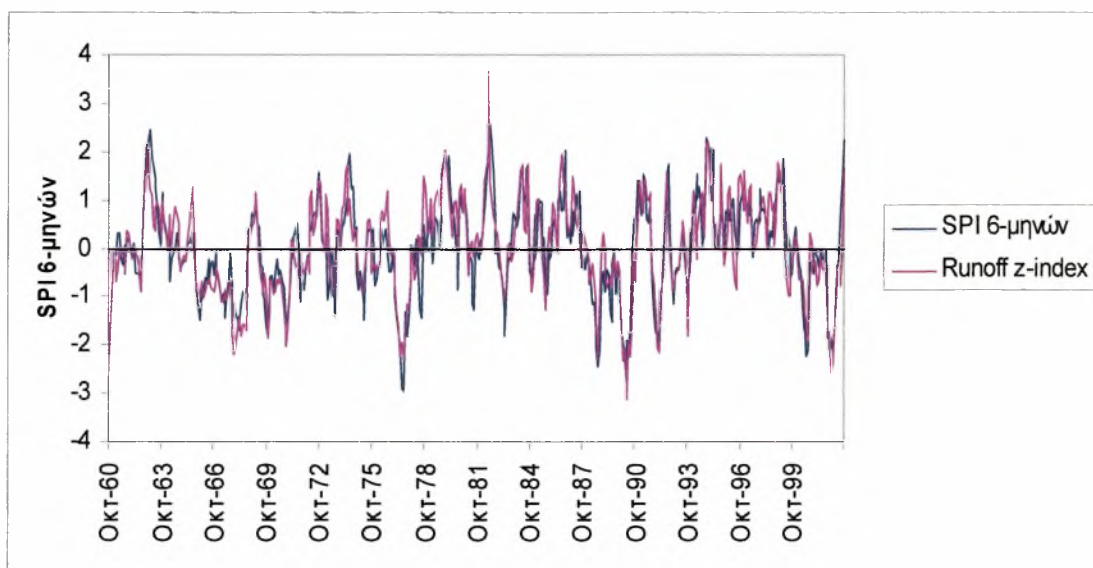
Από τους πίνακες με τις τιμές των μετεωρολογικών δεικτών SPI n-κλίμακας και WPLM με την καλύτερη συσχέτιση ως προς τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} , ανά μήνα και ανά έτος, δημιουργήθηκαν χρονοσειρές για όλες τις υπολεκάνες και απεικονίζονται σε γραφήματα. Οι χρονοσειρές είναι για τα 42 υδρολογικά έτη (1960-61 έως 2001-02) που είχαμε δεδομένα για να υπολογιστούν οι δείκτες. Η γραφική αποτύπωση των μετεωρολογικών δεικτών PDSI, SPI για όλες τις διάρκειες ως προς τον χρόνο περιγράφει την χρονική μεταβλητότητα του φαινομένου και μπορεί να δώσει σημαντική πληροφορία για φαινόμενα ξηρασίας. Ενδεικτικά παρατίθενται τα διαγράμματα χρονοσειρών των υπολεκανών Μεσδάνι, Καλέντζη, Πλιούρη και Πορταϊκού. (Σχήμα 5.3-5.10).



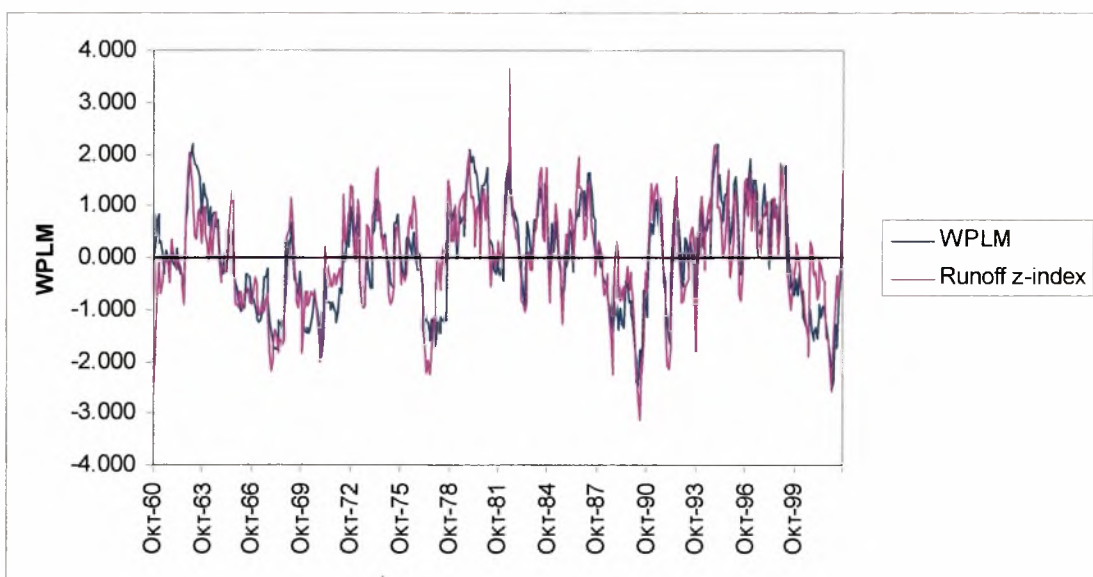
Σχήμα 5.3. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μηνών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Μεσδάνι



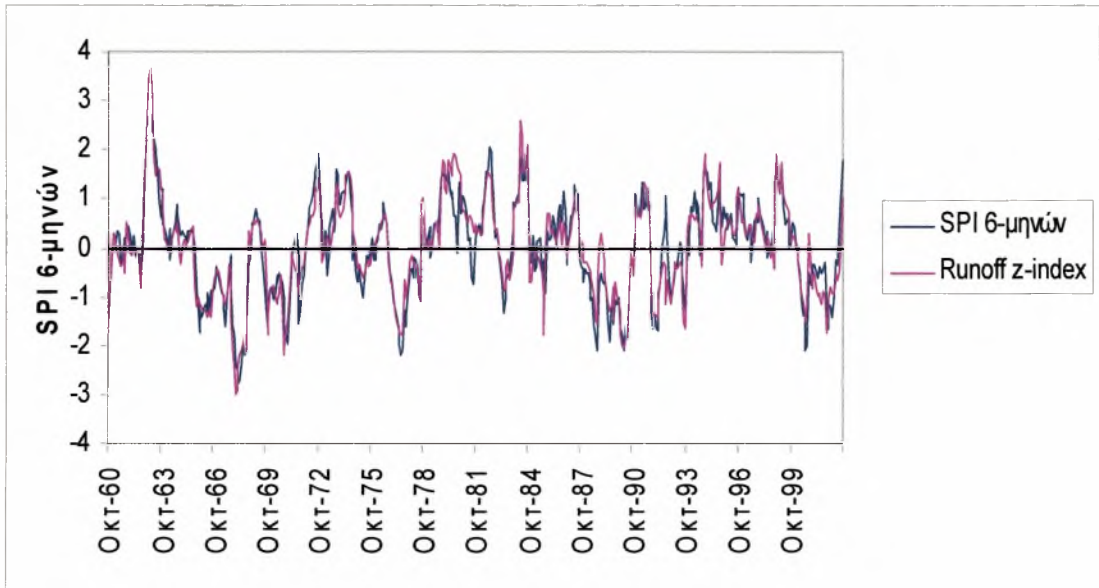
Σχήμα 5.4. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Μεσδάνι



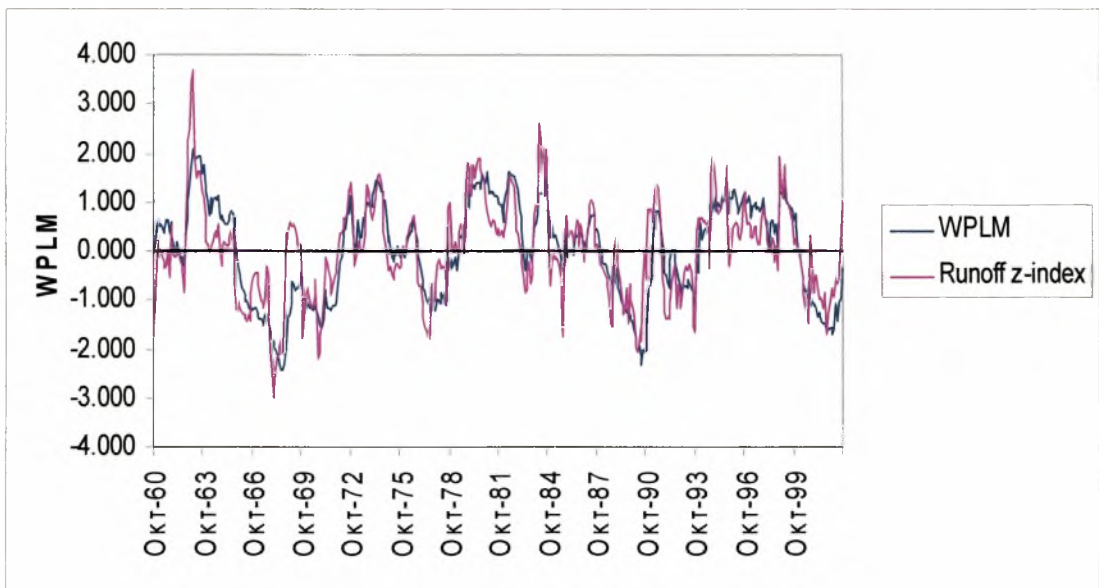
Σχήμα 5.5. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI-6 μηνών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Καλέντζη.



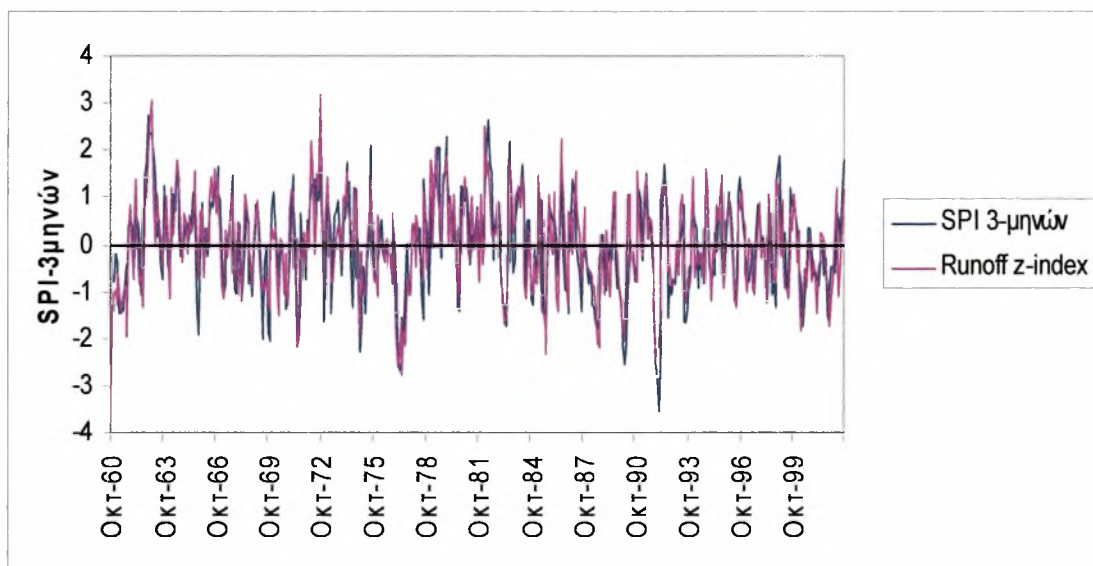
Σχήμα 5.6. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Καλέντζη



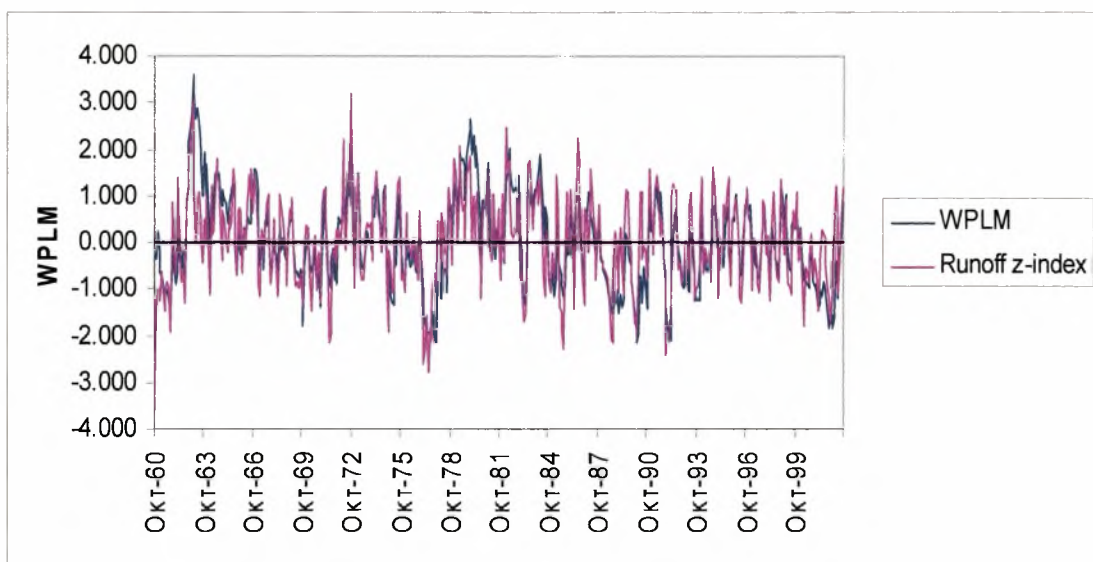
Σχήμα 5.7. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI-6 μηνών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πλιούρη.



Σχήμα 5.8. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη του Πλιούρη.



Σχήμα 5.9. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI-3 μηνών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πορταϊκός.



Σχήμα 5.10. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πορταϊκός.

Ο οπτικός έλεγχος των παραπάνω χρονοσειρών μας δείχνει ότι οι ξηρασίες ήταν αρκετά συχνές τις δεκαετίες του 1970 και του 1980 και τις αρχές του 2000. Ωστόσο διακρίνονται τρεις περίοδοι που χαρακτηρίζονται δριμύτατες όπως προκύπτουν από την τιμή των μετεωρολογικών δεικτών και του υδρολογικού δείκτη Zij. Πιο συγκεκριμένα η προσωρινή εξέλιξη του υδρολογικού δείκτη με τους καλύτερους μετεωρολογικούς δείκτες τα οποία αναλύθηκαν προηγουμένως έδειξαν ότι κατά τα υδρολογικά έτη Οκτώβριος 1976- Σεπτέμβριος 1978, Οκτώβριος 1987- Σεπτέμβριος 1990 και Οκτώβριος 2000- Σεπτέμβριος 2002 σημειώθηκαν σημαντικές περιόδους ξηρασίας για όλες τις υπό εξέταση υπολεκάνες (Παράρτημα Γ). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε πρόσφατη μελέτη (Loukas and Vasiliades, 2007) χρησιμοποιώντας τον SPI και PDSI για την αποτίμηση της ξηρασίας.

5.3 Σύγκριση δεικτών στις τρεις περιόδους ξηρασίας.

Από τη χρονική σύγκριση των δεικτών για τα υδρολογικά έτη 1960-61 έως 2001-02 καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι υπάρχουν παρατεταμένα γεγονότα ξηρασίας σε τρεις περιόδους, Οκτώβριος 1976- Σεπτέμβριος 1978, Οκτώβριος 1987- Σεπτέμβριος 1990 και Οκτώβριος 2000- Σεπτέμβριος 2002. Ίδια αποτελέσματα έχουν βρεθεί και από άλλες εργασίες που μελέτησαν το φαινόμενο της ξηρασίας στην υπό μελέτη υδρολογική λεκάνη του Πηνειού ποταμού αλλά και σε ολόκληρο το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας για τα ίδια υδρολογικά έτη (Vasiliades and Loukas, 2007). Για την καλύτερη σύγκριση λοιπόν κρίνεται απαραίτητος ο συσχετισμός των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας για τα ακραία γεγονότα υδρολογικής ξηρασίας μέσα σ' αυτές τις περιόδους. Η ανάλυση συσχέτισης έγινε με τους καλύτερους δείκτες που προσδιορίστηκαν στο Κεφάλαιο 5 και τα αποτελέσματά τους παρουσιάζονται στο Παράρτημα Δ.

Η παραπάνω ανάλυση όμως δεν αρκεί για να έχουμε πλήρη εικόνα του τι συμβαίνει σε κάθε υπολεκάνη. Για το σκοπό αυτό απομονώθηκαν τα γεγονότα ξηρασίας, τιμές μικρότερες ή ίσες του -1, και υπολογίστηκαν οι ακρότατες τιμές τους, ο μήνας που σημειώθηκαν καθώς και η μέση τιμή που προσδιορίζει την ταυτότητα (κλάση) του γεγονότος και η διάρκεια του.

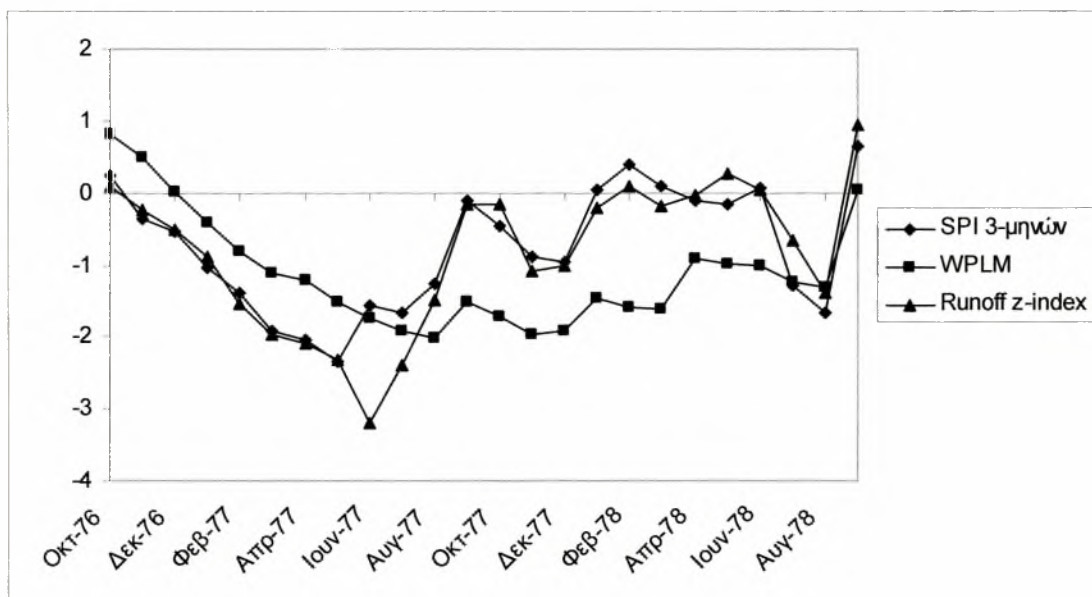
1^η Περίοδος Οκτ 1976-Σεπ 1978

Από τα αποτελέσματα που απεικονίζονται στο Πίνακα 5.5, καλύτερη συσχέτιση με τον υδρολογικό δείκτη δείχνει ο δείκτης SPI για όλες σχεδόν τις υπολεκάνες. Μέγιστη τιμή έχει στην υπολεκάνη του Πλιούρη (0.93) και ελάχιστη στην υπολεκάνη του Πηνειού (0.72) η οποία είναι η μονή που ο σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM) δείχνει την μέγιστη συσχέτιση (0.81). Γενικά ο σταθμισμένος δείκτης Palmer έχει πολύ μικρή συσχέτιση με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} .

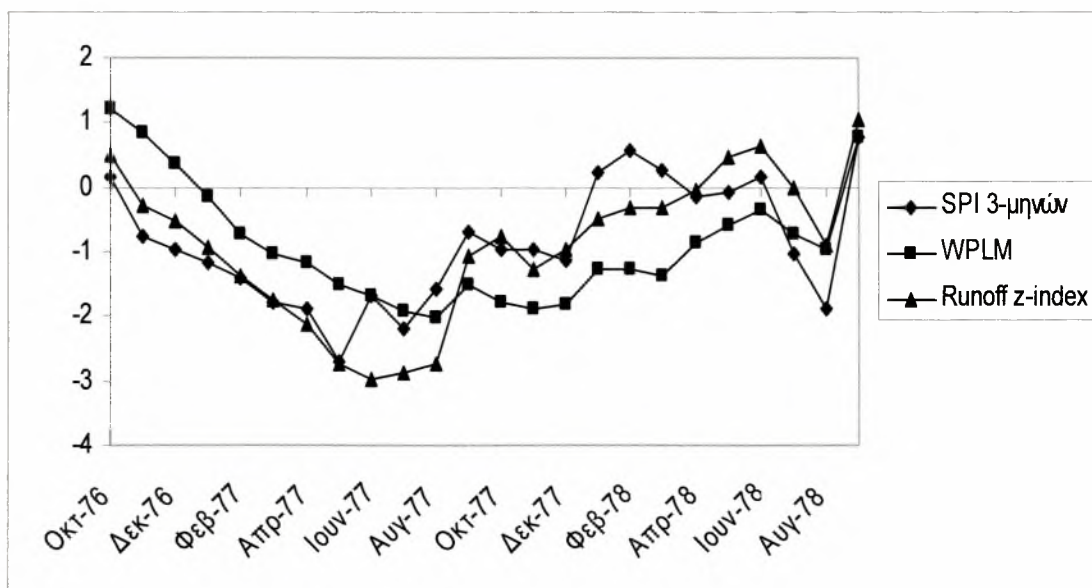
Πίνακας 5.5 Συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} (Οκτ 76-Σεπ 78)

Λεκάνη	1η Περίοδος	
	SPI	WPLM
Ενιππέας	0.88	0.52
Φαρσαλιώτης	0.82	0.67
Καλέντζης	0.86	0.58
Κουσ/νιώτης	0.86	0.79
Ληθαίος	0.91	0.44
Μεσδάνι	0.84	0.61
Νεοχώρι	0.85	0.66
Πάμισος	0.76	0.75
Πηνειός	0.72	0.81
Πλιούρης	0.93	0.42
Πορταϊκός	0.83	0.77
Σοφαδίτης	0.79	0.33
Θεόπετρα	0.86	0.74
Τιταρήσιος	0.87	0.76

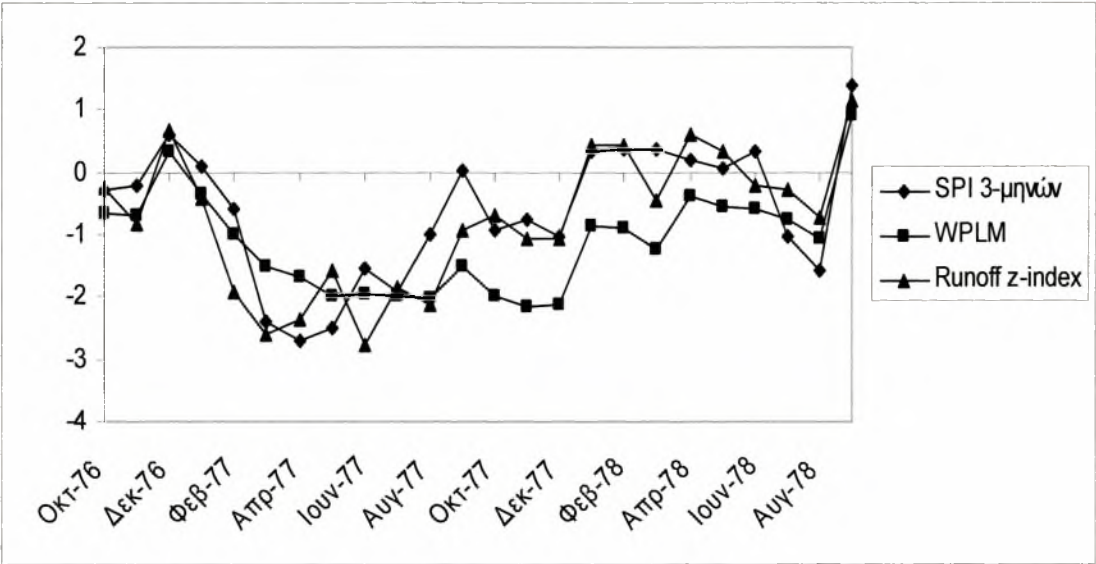
Ο οπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων φαίνεται στα Σχήματα 5.11-5.14 για τρεις υπολεκάνες (Ληθαίος, Νεοχώρι, Πορταϊκός) με συσχέτιση του SPI μεγαλύτερη του 0.8 και η υπολεκάνη του Πηνειού που ο δείκτης WPLM έδειξε καλύτερη συσχέτιση (0.81).



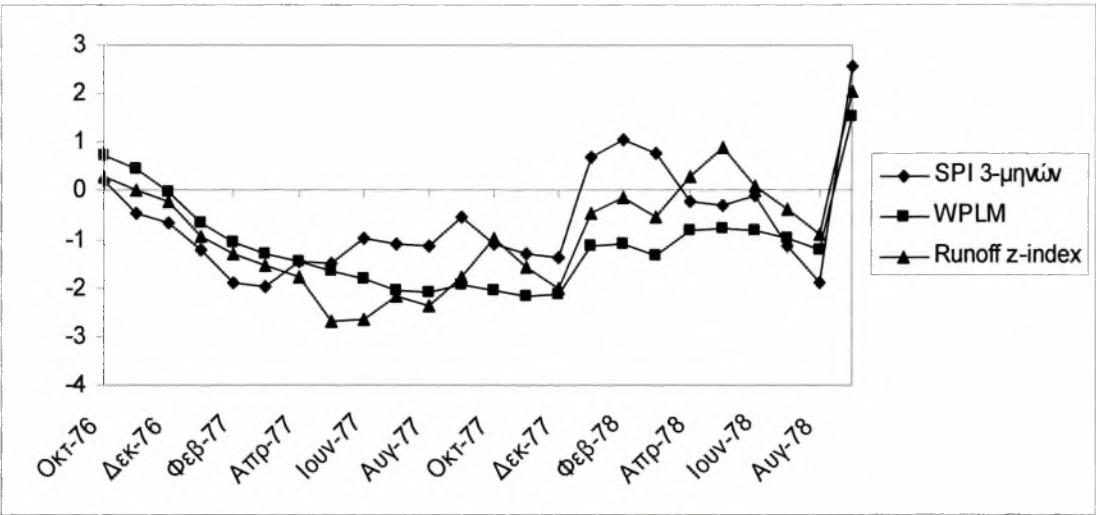
Σχήμα 5.11. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ληθαίου.



Σχήμα 5.12. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου.



Σχήμα 5.13. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πορταϊκού.



Σχήμα 5.14. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πηνειού.

Μετά την απομόνωση των γεγονότων με τιμές μικρότερες του -1 μέσα στη περίοδο και τον υπολογισμό των μέγιστων τιμών, μέσων τιμών, κλάσης του γεγονότος και διάρκειας του (Πίνακας 5.6) γίνεται αντιληπτή μια σημαντική διαφορά των δυο μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM. Ο δείκτης SPI δείχνει ακραία ξηρασία και πιο συγκεκριμένα εμφανίζει μέγιστη τιμή νωρίτερα από τον υδρολογικό δείκτη Zij, σε αντίθεση με τον WPLM που εμφανίζει ακρότατο αργότερα από τον υδρολογικό δείκτη. Αναλυτικότερα, παρατηρώντας τις στήλες (3), (4) του Πίνακα 5.6 στην λεκάνη του Ενιπέα ενώ ο υδρολογικός δείκτης δείχνει μέγιστη τιμή τον Μάιο του 1977 (-2.96), ο SPI εμφανίζει μέγιστο τον Φεβρουάριο της ίδια χρονιάς ενώ ο WPLM παίρνει την μέγιστη τιμή του τον Ιούνιο του ίδιου έτους.

Η μόνη λεκάνη στην οποία δεν ανιχνεύεται η παραπάνω σημαντική πληροφορία είναι αυτή του Κουσμπασανιώτη όπου ο δείκτης SPI εμφανίζει ανώτερη τιμή τον Αύγουστο της επόμενης χρονιάς (1978) με τιμή -2.34 ενώ ο WPLM τον Νοέμβριο του '97 (-2.01) και ο Zij τον Ιούνιο του 1977.

Όσο αφορά όμως τον χαρακτήρα (κλάση) της ξηρασίας κατά την περίοδο αυτή οι δυο δείκτες SPI, WPLM δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές. Στις περισσότερες υπολεκάνες ο SPI χαρακτηρίζει την ξηρασία δριμεία και ταυτίζεται εξίσου με την κλάση του υδρολογικού δείκτη Zij, γεγονός που επαληθεύει την καλύτερη συσχέτιση των δυο δεικτών από αυτή του WPLM με τον Zij.

Κατά την ανάλυση της διάρκειας στα αποτελέσματα που λαμβάνουμε παρατηρούμε ότι ο δείκτης WPLM δίνει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια σε σχέση με τον SPI όπου ο δεύτερος σχετίζει καλύτερα τη διάρκεια του με τον δείκτη Zij. Μέγιστη διάρκεια του SPI παρατηρείται στην υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη (14 μήνες) ενώ ο WPLM στις υπολεκάνες Ενιπέας και Σοφαδίτη (20 μήνες). Η μέση διάρκεια για όλη της λεκάνη απορροής του Πηνειού για τους δείκτες SPI, WPLM και Zij είναι 10.3, 14.8 και 9.7 αντίστοιχα για τη περίοδο Οκτ 1976- Σεπ-1978.

Πίνακας 5.6 Ανάλυση μέσων και μέγιστων τιμών για την 1^η περίοδο (Οκτ 76-Σεπ-78).

Λεκάνη	Δείκτης	Μέγ. Τιμή	Μήνας	Μέση Τιμή	Κλάση	Διάρκεια
Ενιππέας	SPI- 3 μηνών	-2.96	Φεβ-77	-1.84	Δριμεία	11
	WPLM	-2.98	Ιουν-77	-2.32	Ακραία	20
	Runoff z-index	-3.68	Μαι-77	-2.37	Ακραία	13
Φαρσαλιώτης	SPI 3-μηνών	-2.39	Μαρ-77	-1.56	Δριμεία	11
	WPLM	-2.96	Αυγ-77	-2.24	Ακραία	12
	Runoff Z-index	-3.76	Μαι-77	-2.30	Ακραία	10
Καλέντζης	SPI- 6 μηνών	-2.96	Ιουλ-77	-1.85	Δριμεία	12
	WPLM	-1.72	Νοε-77	-1.33	Μέτρια	17
	Runoff z-index	-2.27	Αυγ-77	-1.75	Δριμεία	9
Κουσιλιώτης	SPI- 24 μηνών	-2.34	Αυγ-78	-1.76	Δριμεία	14
	WPLM	-2.01	Νοε-77	-1.68	Δριμεία	19
	Runoff z-index	-1.68	Μαρ-77	-1.41	Μέτρια	14
Ληθαίος	SPI- 3 μηνών	-2.34	Μαι-77	-1.62	Δριμεία	10
	WPLM	-2.02	Αυγ-77	-1.55	Δριμεία	16
	Runoff z-index	-3.20	Ιουν-77	-1.85	Δριμεία	10
Μεσδάνι	SPI- 3 μηνών	-2.40	Απρ-77	-1.81	Δριμεία	8
	WPLM	-2.13	Νοε-77	-1.73	Δριμεία	14
	Runoff z-index	-2.40	Ιουν-77	-1.97	Δριμεία	9
Νεοχώρι	SPI- 3 μηνών	-2.72	Μαι-77	-1.68	Δριμεία	11
	WPLM	-2.02	Αυγ-77	-1.56	Δριμεία	13
	Runoff z-index	-2.97	Ιουν-77	-2.10	Ακραία	9
Πάμισος	SPI- 3 μηνών	-2.15	Μαρ-77	-1.76	Δριμεία	8
	WPLM	-1.92	Δεκ-77	-1.46	Μέτρια	15
	Runoff z-index	-2.68	Ιουν-77	-1.65	Δριμεία	11
Πηνειός	SPI- 3 μηνών	-1.97	Μαρ-77	-1.42	Μέτρια	12
	WPLM	-2.18	Νοε-77	-1.63	Δριμεία	15
	Runoff z-index	-2.69	Μαι-77	-1.98	Δριμεία	10
Πλιούρης	SPI- 6 μηνών	-2.17	Ιουλ-77	-1.56	Δριμεία	11
	WPLM	-1.26	Αυγ-77	-1.14	Μέτρια	12
	Runoff z-index	-1.80	Αυγ-77	-1.44	Μέτρια	9
Πορταϊκός	SPI- 3 μηνών	-2.70	Απρ-77	-1.74	Δριμεία	9
	WPLM	-2.18	Νοε-77	-1.77	Δριμεία	12
	Runoff z-index	-2.78	Ιουν-77	-1.93	Δριμεία	9
Σοφαδίτης	SPI- 3 μηνών	-2.90	Μαρ-77	-1.87	Δριμεία	11
	WPLM	-2.63	Αυγ-77	-1.85	Δριμεία	20
	Runoff z-index	-2.91	Ιουν-77	-2.13	Ακραία	8
Θεόπετρα	SPI- 3 μηνών	-2.12	Μαι-77	-1.51	Δριμεία	8
	WPLM	-1.78	Αυγ-77	-1.48	Μέτρια	11
	Runoff z-index	-2.14	Ιουλ-77	-1.63	Δριμεία	7
Τιταρήσιος	SPI- 6 μηνών	-2.36	Αυγ-77	-1.79	Δριμεία	8
	WPLM	-1.63	Δεκ-77	-1.30	Μέτρια	11
	Runoff z-index	-2.01	Αυγ-77	-1.42	Μέτρια	8

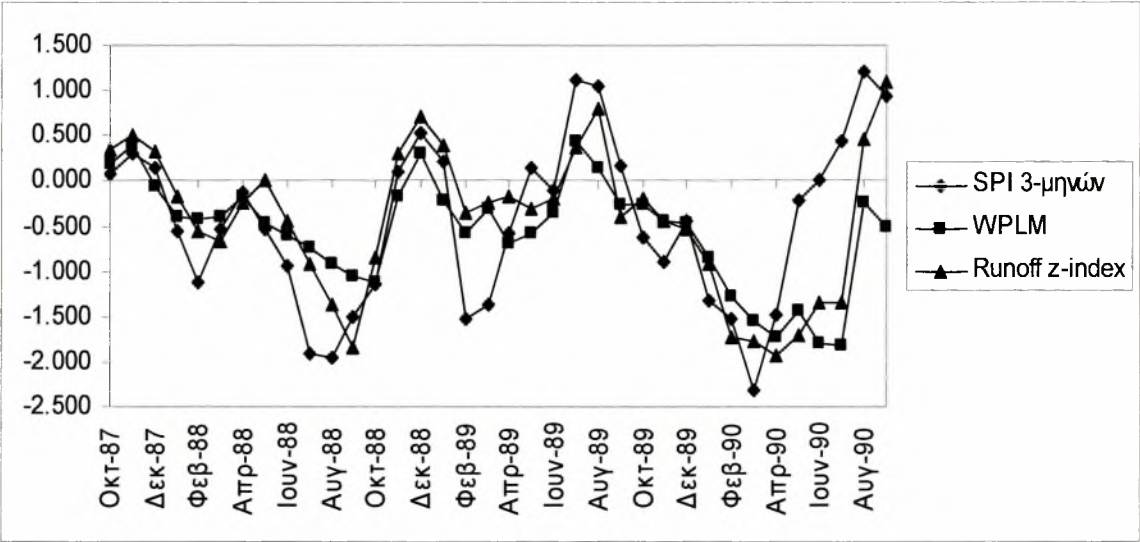
2^η Περίοδος Οκτ 1987-Σεπ 1990

Όμοια με προηγούμενα γίνεται ανάλυση των συσχετίσεων για την παρούσα περίοδο. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.7. Αντίθετα με την 1^η περίοδο που εξετάστηκε προηγουμένως γίνεται φανερό ότι οι συσχέτιση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} είναι αρκετά μεγαλύτερη. Στις περισσότερες υπολεκάνες που η συσχέτιση του δείκτη WPLM ξεπέρασε τη συσχέτιση του SPI είναι γειτονικές μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα στη 2^η περίοδο οι υπολεκάνες του Ενιππέα (0.86), Φαρσαλιώτη (0.81), Καλέντζη (0.79), Κουσμπασανιώτη (0.89), Τιταρήσιου (0.85) και Νεοχωρίου (0.78) είναι αυτές που ο WPLM συσχετίζεται καλύτερα ο Z_{ij} . Στις υπόλοιπες υπολεκάνες η συσχέτιση του δείκτη SPI παραμένει μεγαλύτερη όπως και στη 1^η περίοδο.

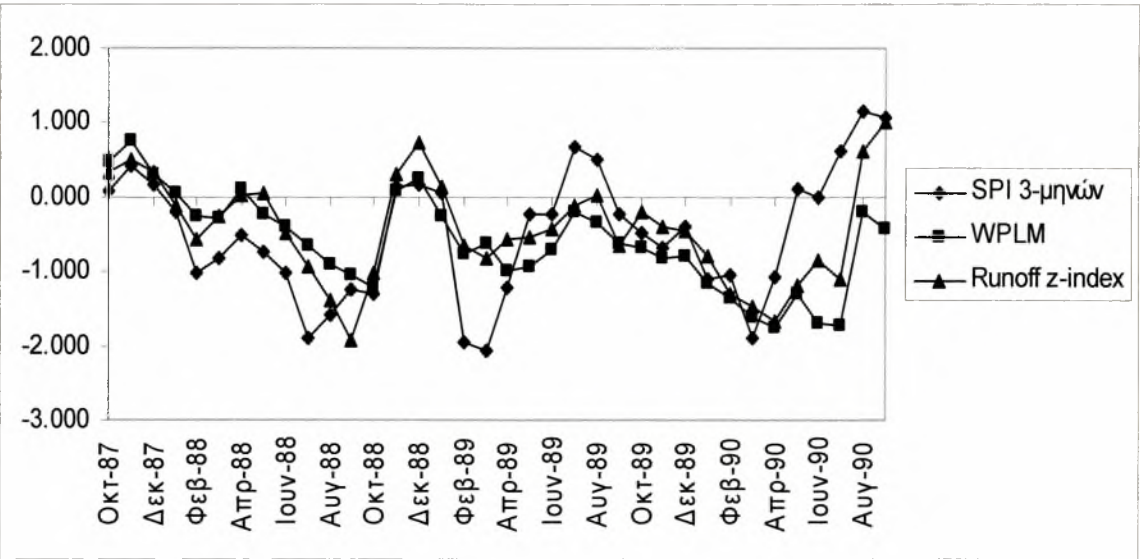
Πίνακας 5.7 Συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} (Οκτ 87-Σεπ 90)

Λεκάνη	2η Περίοδος	
	SPI	WPLM
Ενιππέας	0.71	0.86
Φαρσαλιώτης	0.66	0.81
Καλέντζης	0.78	0.79
Κουσ/νιώτης	0.64	0.89
Ληθαίος	0.84	0.65
Μεσδάνι	0.89	0.77
Νεοχώρι	0.67	0.78
Πάμισος	0.88	0.70
Πηνειός	0.72	0.80
Πλιούρης	0.87	0.71
Πορταϊκός	0.78	0.70
Σοφαδίτης	0.60	0.56
Θεόπετρα	0.69	0.64
Τιταρήσιος	0.78	0.85

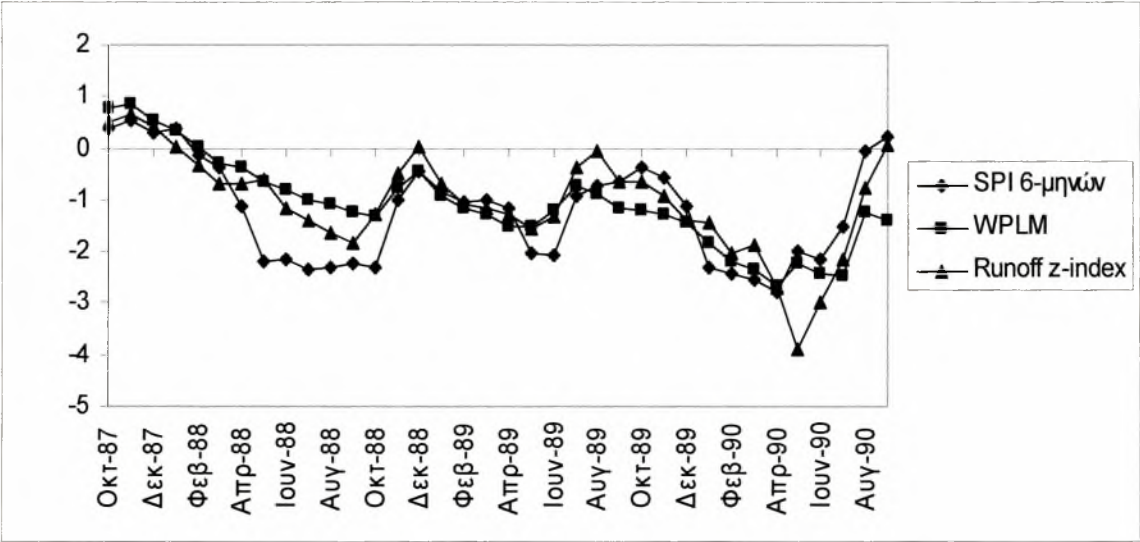
Ο οπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων φαίνεται στα Σχήματα 5.15-5.18 για τρεις υπολεκάνες (Ενιππέας, Φαρσαλιώτης, Τιταρήσιος) με συσχέτιση του WPLM μεγαλύτερη του 0.8 και η υπολεκάνη του Μεσδάνι που ο δείκτης SPI έδειξε καλύτερη συσχέτιση (0.89).



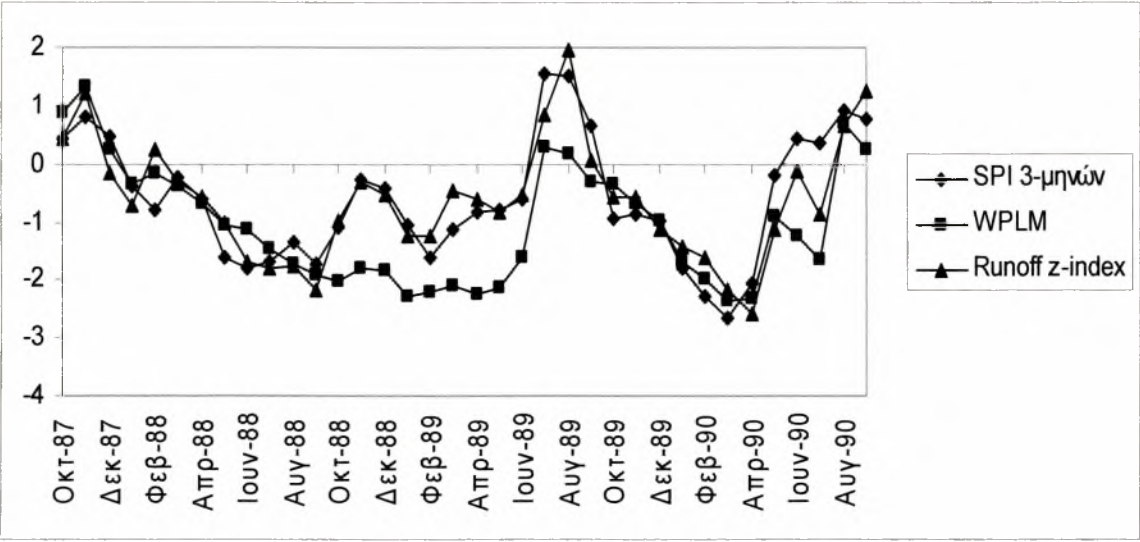
Σχήμα 5.15. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ενιπέα.



Σχήμα 5.16. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Φαρσαλιώτη.



Σχήμα 5.17. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Τιταρήσιου.



Σχήμα 5.18. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Μεσδάνι.

Μετά την απομόνωση των γεγονότων με τιμές μικρότερες του -1 μέσα στη περίοδο και τον υπολογισμό των μέγιστων τιμών, μέσων τιμών, κλάσης του γεγονότος και διάρκειας όπως έγινε και προηγούμενα (1^η περίοδος), τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στο Πίνακα 5.8.

Στη περίοδο Οκτ 1987- Σεπ 1990 επανελέγχεται η πληροφορία ότι ο δείκτης SPI δείχνει ακραία ξηρασία πριν από τον WPLM. Αυτό όμως δεν ισχύει για όλες τις υπολεκάνες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα η λεκάνη του Φαρσαλιώτη όπου ο υδρολογικός δείκτης Z_{ij} έχει μέγιστη τιμή τον Οκτ-88 (-1.94) ο SPI έχει το Μαρ-89 (-2.07) ενώ ο WPLM έχει τον Απρ-90. Ακόμα υπάρχουν υπολεκάνες στις οποίες οι δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας εμφανίζουν μέγιστη τιμή τον ίδιο μήνα (Καλέντζης, Μεσδάνι) γεγονός που οφείλεται στην καλύτερη συσχέτισή τους με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} κατά τη 2^η περίοδο.

Όσο αφορά το πώς χαρακτηρίζουν (κλάση) οι δείκτες μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας την περίοδο, για κάθε υπολεκάνη, παρατηρούμε ότι υπάρχει συμφωνία μεταξύ τους. Οι περισσότερες υπολεκάνες χαρακτηρίζουν την περίοδο από μέτρια ξηρασία ενώ σε καμία δεν χαρακτηρίζεται το γεγονός δριμύ ή ακραίο. Στις υπολεκάνες Καλέντζης, Μεσδάνι, Σοφαδίτης, Πλιούρης και Τιταρήσιος οι τρεις δείκτες (SPI, WPLM, Z_{ij}) δείχνουν δριμεία ξηρασία. Και σε αυτή τη περίπτωση το αποτέλεσμα οφείλεται στη καλύτερη συσχέτιση των μετεωρολογικών δεικτών με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας σε αυτή τη περίοδο (Οκτ 1987-Σεπ-1990).

Στο Πίνακα 5.8 παρατηρούμε ότι η διάρκεια δεν αντικατοπτρίζει απόλυτα τη καλύτερη συσχέτιση που έχουμε στους δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας. Ο SPI στις υπολεκάνες Καλέντζης, Μεσδάνι, Θεόπετρα εμφανίζει την ίδια διάρκεια με τον Z_{ij} ενώ ο δείκτης WPLM δείχνει αρκετά μεγαλύτερη διάρκεια. Η μέγιστη διάρκεια του SPI εμφανίζεται στην υπολεκάνη του Πλιούρη (21 μήνες) ενώ ο WPLM έχει μέγιστη διάρκεια 21 μήνες στην υπολεκάνη του Πάμισου. Η μέση διάρκεια των δεικτών SPI, WPLM, Z_{ij} είναι 14.6, 16.6 και 11.8 αντίστοιχα.

Πίνακας 5.8 Ανάλυση μέσων και μέγιστων τιμών για την 2^η περίοδο (Οκτ 87-Σεπ-90).

Λεκάνη	Δείκτης	Μέγ. Τιμή	Μήνας	Μέση Τιμή	Κλάση	Διάρκεια
Ενιππέας	SPI- 3 μηνών	-2.32	Μαρ-90	-1.57	Δριμεία	11
	WPLM	-1.83	Ιουλ-90	-1.47	Μέτρια	8
	Runoff z-index	-1.94	Απρ-90	-1.64	Δριμεία	8
Φαρσαλιώτης	SPI 3-μηνών	-2.07	Μαρ-89	-1.42	Μέτρια	13
	WPLM	-1.76	Απρ-90	-1.39	Μέτρια	10
	Runoff Z-index	-1.94	Οκτ-88	-1.39	Μέτρια	8
Καλέντζης	SPI- 6 μηνών	-2.77	Απρ-90	-1.94	Δριμεία	12
	WPLM	-2.48	Απρ-90	-1.62	Δριμεία	17
	Runoff z-index	-3.13	Μαι-90	-1.96	Δριμεία	12
Κουσ/νιώτης	SPI- 24 μηνών	-1.91	Νοε-89	-1.55	Δριμεία	19
	WPLM	-1.68	Απρ-90	-1.28	Μέτρια	18
	Runoff z-index	-1.75	Απρ-90	-1.34	Μέτρια	12
Ληθαίος	SPI- 3 μηνών	-2.39	Μαρ-90	-1.44	Μέτρια	18
	WPLM	-2.41	Απρ-90	-1.57	Δριμεία	20
	Runoff z-index	-2.53	Φεβ-90	-1.67	Δριμεία	14
Μεσδάνι	SPI- 3 μηνών	-2.67	Μαρ-90	-1.68	Δριμεία	13
	WPLM	-2.37	Μαρ-90	-1.85	Δριμεία	20
	Runoff z-index	-2.13	Απρ-90	-1.61	Δριμεία	13
Νεοχώρι	SPI- 3 μηνών	-2.12	Μαρ-90	-1.49	Μέτρια	13
	WPLM	-2.58	Ιουλ-90	-1.80	Δριμεία	11
	Runoff z-index	-2.73	Απρ-90	-1.72	Δριμεία	11
Πάμισος	SPI- 3 μηνών	-3.08	Μαρ-90	-1.81	Δριμεία	12
	WPLM	-2.31	Μαρ-90	-1.59	Δριμεία	21
	Runoff z-index	-2.45	Σεπ-88	-1.73	Δριμεία	10
Πηνειός	SPI- 3 μηνών	-3.03	Μαρ-90	-1.57	Δριμεία	15
	WPLM	-2.03	Ιουλ-90	-1.48	Μέτρια	13
	Runoff z-index	-3.10	Μαι-90	-1.63	Δριμεία	13
Πλιούρης	SPI- 6 μηνών	-2.10	Απρ-90	-1.54	Δριμεία	21
	WPLM	-2.33	Ιουλ-90	-1.62	Δριμεία	18
	Runoff z-index	-2.07	Απρ-90	-1.56	Δριμεία	14
Πορταϊκός	SPI- 3 μηνών	-2.54	Μαρ-90	-1.68	Δριμεία	11
	WPLM	-2.18	Μαρ-90	-1.41	Μέτρια	19
	Runoff z-index	-2.17	Σεπ-88	-1.60	Δριμεία	9
Σοφαδίτης	SPI- 3 μηνών	-2.85	Μαρ-90	-1.86	Δριμεία	13
	WPLM	-2.67	Ιουλ-90	-1.74	Δριμεία	16
	Runoff z-index	-2.76	Απρ-90	-1.82	Δριμεία	9
Θεόπετρα	SPI- 3 μηνών	-2.33	Μαρ-90	-1.55	Δριμεία	14
	WPLM	-2.09	Ιουλ-90	-1.41	Μέτρια	20
	Runoff z-index	-2.44	Σεπ-88	-1.51	Δριμεία	14
Τιταρήσιος	SPI- 6 μηνών	-2.79	Απρ-90	-1.94	Δριμεία	20
	WPLM	-2.65	Απρ-90	-1.63	Δριμεία	21
	Runoff z-index	-3.88	Μαι-90	-1.79	Δριμεία	18

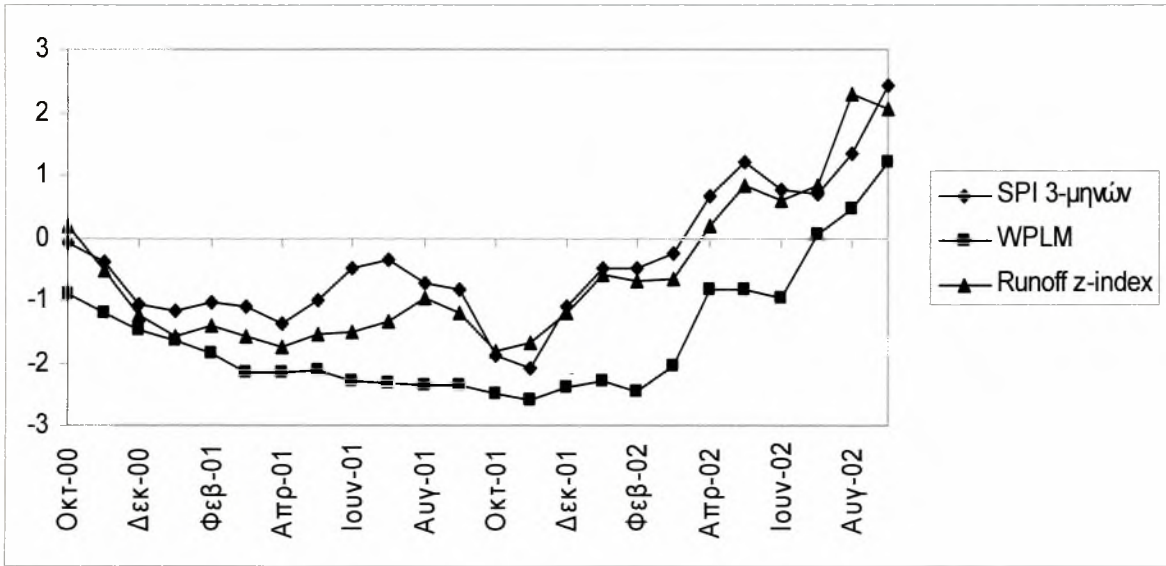
3^η Περίοδος Οκτ 2000-Σεπ 2002

Όπως και στις δυο περιόδους που παρουσιάστηκαν προηγουμένως έτσι και σ' αυτή γίνεται ανάλυση της συσχέτισης των μετεωρολογικών δεικτών (SPI , WPLM) με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} . Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Πίνακα 5.9. Σε αυτή την περίπτωση και οι δυο δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας έχουν πολύ καλή συσχέτιση με τον υδρολογικό δείκτη σε όλες τις υπολεκάνες. Η μέγιστη συσχέτιση του SPI είναι στην υπολεκάνη του Ληθαίου (0.94) ενώ η ελάχιστη στον Πορταϊκό (0.68). Ο WPLM έχει μεγαλύτερη συσχέτιση στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου ενώ ελάχιστη στο Σοφαδίτη. Γενικά ο δείκτης SPI αντιπροσωπεύει καλύτερα την περίοδο Οκτ 2000-Σεπ 2002.

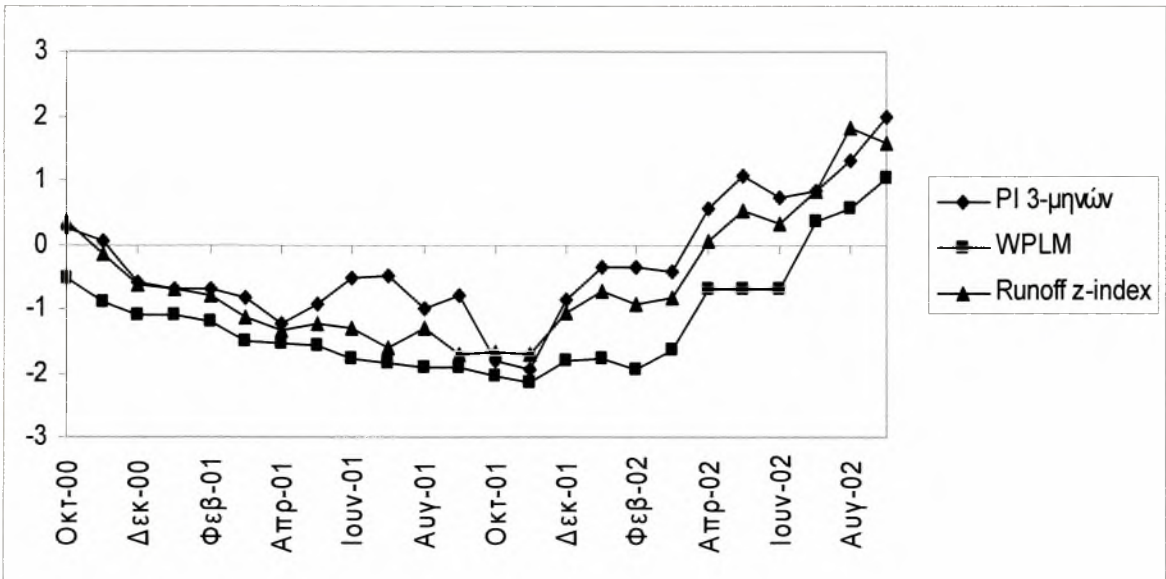
Πίνακας 5.9 Συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} (Οκτ 00-Σεπ 02)

Λεκάνη	3η Περίοδος	
	SPI	WPLM
Ενιππέας	0.92	0.87
Φαρσαλιώτης	0.92	0.83
Καλέντζης	0.82	0.71
Κουσ/νιώτης	0.70	0.77
Ληθαίος	0.94	0.91
Μεσδάνι	0.90	0.80
Νεοχώρι	0.91	0.94
Πάμισος	0.83	0.81
Πηνειός	0.85	0.72
Πλιούρης	0.78	0.88
Πορταϊκός	0.68	0.68
Σοφαδίτης	0.91	0.62
Θεόπετρα	0.93	0.96
Τιταρήσιος	0.92	0.81

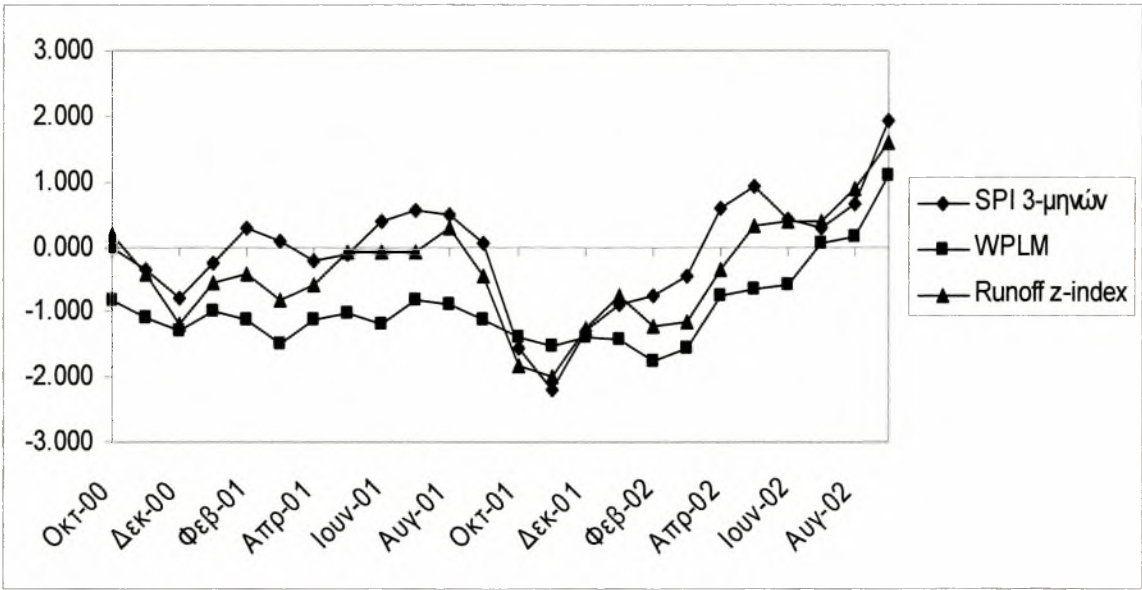
Ο οπτικός έλεγχος των αποτελεσμάτων φαίνεται στα Σχήματα 5.19-5.22 για δυο υπολεκάνες (Ληθαίος, Θεόπετρα) με συσχέτιση του SPI μεγαλύτερη του 0.9 και η υπολεκάνη του Νεοχωρίου και Ενιππέα που ο δείκτης WPLM έδειξε μεγαλύτερη συσχέτιση του 0.85.



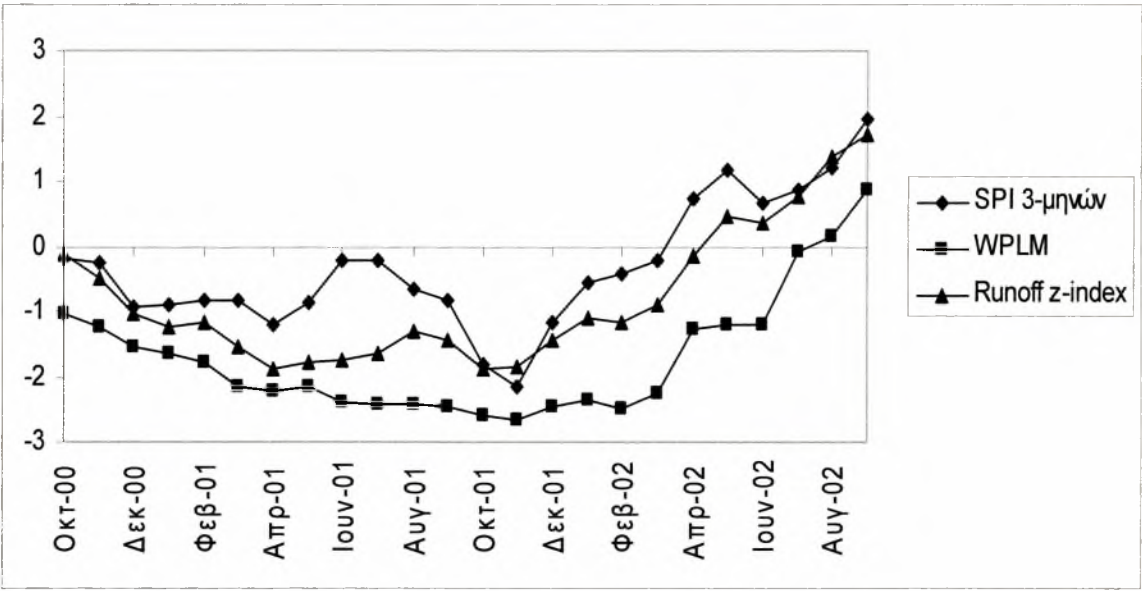
Σχήμα 5.19. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ληθαίου.



Σχήμα 5.20. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη της Θεόπετρας.



Σχήμα 5.21. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ενιπέα.



Σχήμα 5.22. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου.

Μετά την απομόνωση των γεγονότων με τιμές μικρότερες του 0 μέσα στη περίοδο και τον υπολογισμό των μέγιστων τιμών, μέσων τιμών, κλάσης του γεγονότος και διάρκειας όπως έγινε και προηγούμενα (1^η περίοδος, 2^η περίοδος), τα αποτελέσματα συγκεντρώθηκαν στο Πίνακα 5.10.

Στη περίοδο Οκτ 2000- Σεπ 2002 επανελέγχεται η πληροφορία ότι ο δείκτης SPI προειδοποιεί την ξηρασία πριν από τον WPLM. Αυτό φαίνεται στις υπολεκάνες Φαρσαλιώτης (-2.5), Ληθαίος (-2.09), Πηνειός (-1.94), Πορταϊκός (-1.68), και Σοφαδίτης(-2.23). Ωστόσο σε κάποιες υπολεκάνες ταυτίζεται με το μήνα που μας δίνει ο υδρολογικός δείκτης Zij. Όμως και ο μετεωρολογικός δείκτης WPLM δείχνει καλά αποτελέσματα. Σημειώνεται ότι υπάρχει και υπολεκάνη όπου και οι τρεις δείκτες δείχνουν ίδιο μήνα μέγιστης τιμής ξηρασίας το Νοέμβριο 2001 και αυτή είναι της Θεόπετρας.

Όσο αφορά το πώς χαρακτηρίζουν (κλάση) οι δείκτες μετεωρολογικής και υδρολογικής ξηρασίας την περίοδο, για κάθε υπολεκάνη, παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν διαφορετικά αποτελέσματα. Οι υπολεκάνες που βρίσκονται στα νότια και κεντρικά της λεκάνης απορροής του Πηνειού χαρακτηρίζουν τη περίοδο δριμεία ενώ αυτές που βρίσκονται βόρεια και δυτικά την χαρακτηρίζουν μέτρια.

Στο Πίνακα 5.10 παρατηρούμε ότι η διάρκεια δεν αντικατοπτρίζει απόλυτα τη καλή συσχέτιση που έχουμε στους δείκτες μετεωρολογικής ξηρασίας με τον υδρολογικό. Ο SPI στις υπολεκάνες Ενιπέας, Φαρσαλιώτης, Καλέντζης, Πλιούρης και Σοφαδίτης εμφανίζει σχεδόν ίδια διάρκεια με τον Zij ενώ ο δείκτης WPLM δείχνει πολύ μεγαλύτερη διάρκεια. Η μέγιστη διάρκεια για τον SPI εμφανίζεται στην υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη (12 μήνες) ενώ για τον WPLM στην υπολεκάνη του Πηνειού (23 μήνες). Η μέση διάρκεια για τον δείκτη SPI είναι 5.1 μήνες, για τον WPLM 16.3 και για τον Zij 8 μήνες.

Πίνακας 5.10 Ανάλυση μέσων και μέγιστων τιμών για την 3^η περίοδο (Οκτ-00-Σεπ-02).

Λεκάνη	Δείκτης	Μέγ. Τιμή	Μήνας	Μέση Τιμή	Κλάση	Διάρκεια
Ενιππέας	SPI- 3 μηνών	-2.21	Νοε-01	-1.69	Δριμεία	3
	WPLM	-1.77	Μαρ-02	-1.32	Μέτρια	14
	Runoff z-index	-2.01	Νοε-01	-1.45	Μέτρια	6
Φαρσαλιώτης	SPI 3-μηνών	-2.50	Νοε-01	-1.83	Δριμεία	3
	WPLM	-1.85	Φεβ-02	-1.45	Μέτρια	16
	Runoff z-index	-2.31	Νοε-01	-1.60	Δριμεία	6
Καλέντζης	SPI- 6 μηνών	-2.16	Φεβ-02	-1.63	Δριμεία	5
	WPLM	-2.54	Φεβ-02	-1.57	Δριμεία	19
	Runoff z-index	-2.56	Ιαν-02	-1.95	Δριμεία	7
Κουσ/νιώτης	SPI- 24 μηνών	-1.89	Φεβ-02	-1.39	Μέτρια	12
	WPLM	-1.69	Φεβ-02	-1.36	Μέτρια	16
	Runoff z-index	-1.20	Φεβ-02	-1.14	Μέτρια	5
Ληθαίος	SPI- 3 μηνών	-2.09	Νοε-01	-1.31	Μέτρια	9
	WPLM	-2.61	Νοε-01	-2.13	Ακραία	17
	Runoff z-index	-1.82	Οκτ-01	-1.49	Μέτρια	12
Μεσδάνι	SPI- 3 μηνών	-1.85	Νοε-01	-1.39	Μέτρια	4
	WPLM	-1.75	Φεβ-02	-1.31	Μέτρια	12
	Runoff z-index	-3.14	Νοε-01	-1.27	Μέτρια	8
Νεοχώρι	SPI- 3 μηνών	-2.14	Νοε-01	-1.58	Δριμεία	4
	WPLM	-2.67	Νοε-01	-2.00	Ακραία	21
	Runoff z-index	-1.88	Οκτ-01	-1.48	Μέτρια	15
Πάμισος	SPI- 3 μηνών	-1.48	Νοε-01	-1.34	Μέτρια	4
	WPLM	-1.96	Φεβ-02	-1.51	Δριμεία	8
	Runoff z-index	-2.00	Δεκ-01	-1.50	Δριμεία	6
Πηνειός	SPI- 3 μηνών	-1.94	Νοε-01	-1.33	Μέτρια	5
	WPLM	-2.18	Νοε-01	-1.74	Δριμεία	23
	Runoff z-index	-1.90	Δεκ-01	-1.43	Μέτρια	10
Πλιούρης	SPI- 6 μηνών	-1.65	Νοε-01	-1.29	Μέτρια	6
	WPLM	-1.71	Φεβ-02	-1.37	Μέτρια	21
	Runoff z-index	-1.73	Οκτ-01	-1.24	Μέτρια	5
Πορταϊκός	SPI- 3 μηνών	-1.68	Νοε-01	-1.59	Δριμεία	2
	WPLM	-1.85	Φεβ-02	-1.37	Μέτρια	14
	Runoff z-index	-1.73	Δεκ-01	-1.33	Μέτρια	5
Σοφαδίτης	SPI- 3 μηνών	-2.23	Νοε-01	-1.59	Δριμεία	4
	WPLM	-1.91	Φεβ-02	-1.39	Μέτρια	11
	Runoff z-index	-1.83	Δεκ-01	-1.46	Μέτρια	6
Θεόπετρα	SPI- 3 μηνών	-1.94	Νοε-01	-1.50	Δριμεία	4
	WPLM	-2.16	Νοε-01	-1.68	Δριμεία	16
	Runoff z-index	-1.73	Νοε-01	-1.41	Μέτρια	10
Τηταρίσιος	SPI- 6 μηνών	-1.82	Νοε-01	-1.30	Μέτρια	6
	WPLM	-2.69	Φεβ-02	-2.19	Ακραία	20
	Runoff z-index	-1.91	Νοε-01	-1.43	Μέτρια	11

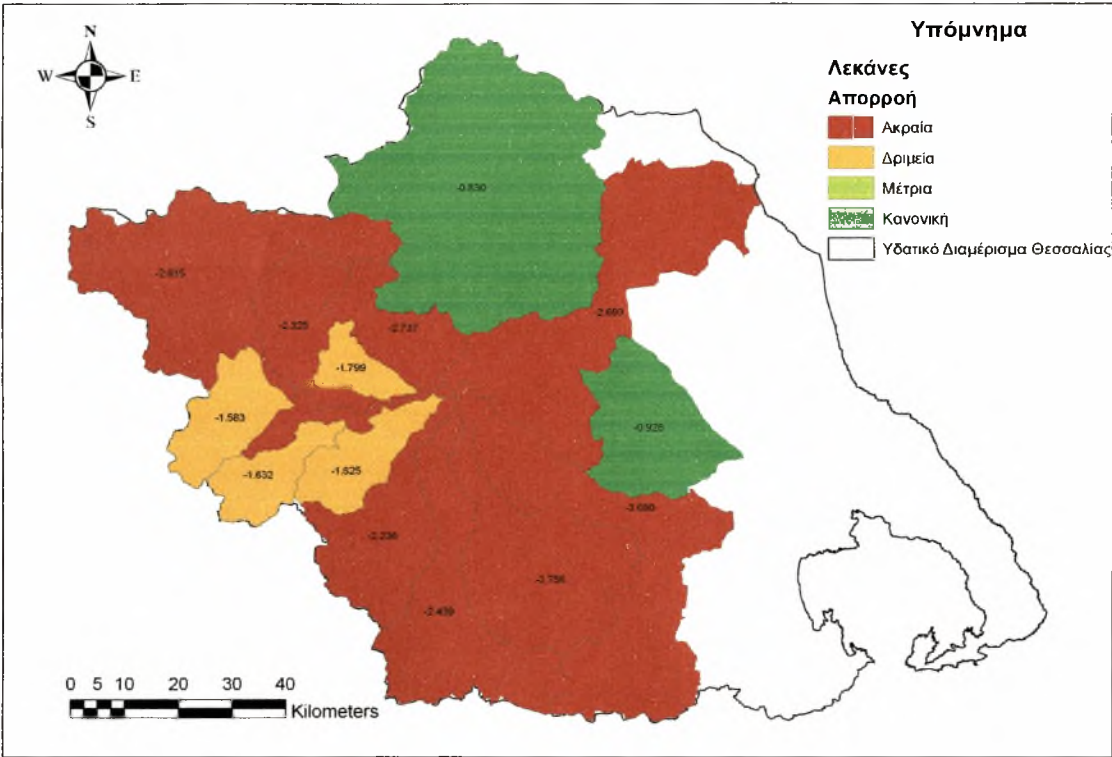
5.4 Χωρική σύγκριση των μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας SPI και WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} .

Η χωρική σύγκριση των δεικτών ξηρασίας έχει σπουδαία σημασία διότι παρουσιάζει για μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή την κατάσταση που επικρατεί στην υπό μελέτη περιοχή. Η χωρική σύγκριση έγινε για τις τρεις περιόδους ξηρασίας που αναλύθηκαν στην παράγραφο 5.3 (Οκτ 1976-Σεπ 1978, Οκτ 1987-Σεπ 1990, Οκτ 2000-Σεπ 2002). Τα αποτελέσματα από προηγούμενες εργασίες (Vasiliades and Loukas, 2007, Loukas and Vasiliades, 2004) στην λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού έδειξαν οι μήνες οπου εμφανίζουν ακραίες τιμές ξηρασίας για κάθε μια από τις παραπάνω περιόδους είναι ο Μάιος 1977 (-2.42), Μάρτιος 1990 (-2.68) και Νοέμβριος 2001 (-1.93).

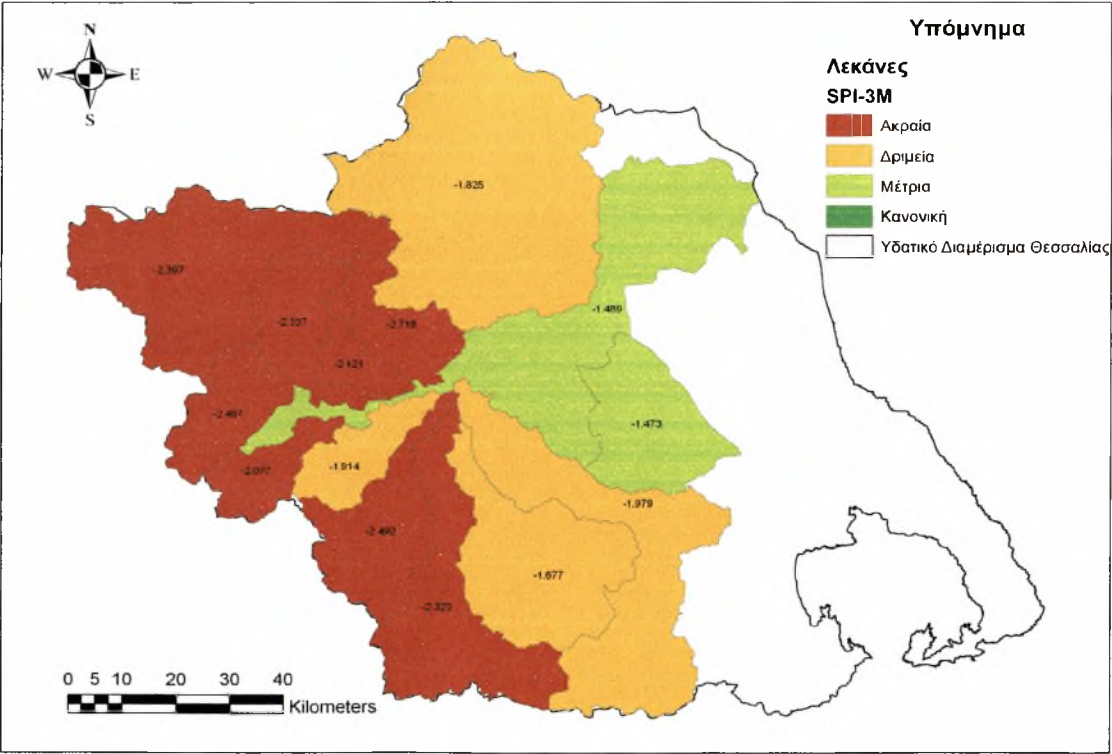
Στη παρούσα εργασία συλλέχθηκαν οι τιμές των μετεωρολογικών δεικτών SPI 3-μηνών, SPI 6-μηνών, WPLM και του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} για τους τρεις προαναφερθέντες μήνες. Οι δείκτες SPI 3-μηνών και SPI 6-μηνών επιλέχθηκαν λόγω του ότι σχεδόν σε όλες τις υπολεκάνες στη περιοχή, έκτος της υπολεκάνης του Κουσμπασανιώτη, παρατηρήθηκε καλύτερη συσχέτιση. Η απεικόνιση των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται ανά περίπτωση στα Σχήματα 5.21-5.32.

1^η Περίπτωση: Μάιος 1977

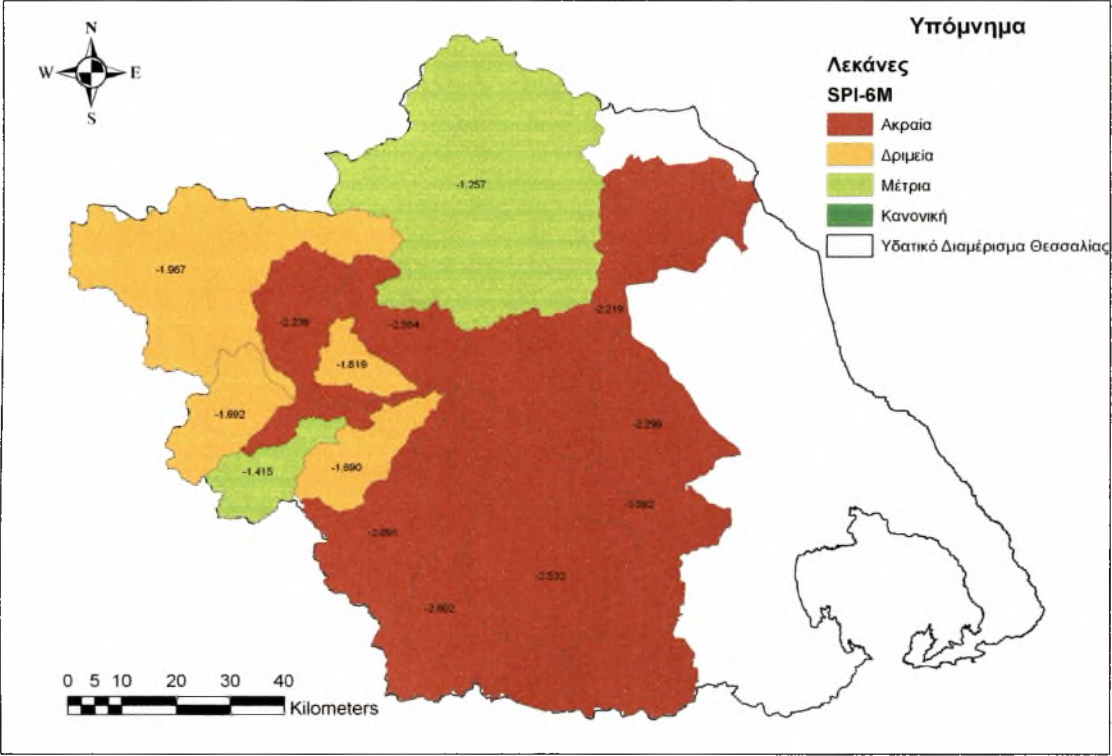
Στο Σχήμα 5.31 απεικονίζονται οι τιμές του υδρολογικού δείκτη Z_{ij} οι οποίες καταδεικνύουν το είδος της ξηρασίας σε κάθε υπολεκάνη. Παρατηρείται ότι στο σύνολο της περιοχής μελέτης η ξηρασία χαρακτηρίζεται ως ακραία. Ειδικότερα σε οχτώ από τις δεκατέσσερις υπολεκάνες ο δείκτης Z_{ij} παίρνει τιμές μικρότερες του -2 στα νότια και βορειοδυτικά (Ενιπέας, Φαρσαλιώτης, Σοφαδίτης, Καλέντζης, Πηνειός, Μεσδάνι, Ληθαίος και Νεοχώρι), ενώ σε τέσσερις υπολεκάνες οι οποίες βρίσκονται στα δυτικά της περιοχής (Πορταϊκός, Πάμισος, Πλιούρης και Θεόπετρα) η ξηρασία χαρακτηρίζεται δριμυία. Επιπλέον στις λεκάνες του Τιταρήσιου και Κουσμπασανιώτη στο Μάιο του 1977 η ξηρασία είναι κανονική. Η υπολεκάνη με τη μέγιστη τιμή του δείκτη είναι αυτή του Φαρσαλιώτη (-3.76) ενώ η ελάχιστη τιμή παρατηρείται στην υπολεκάνη του Τιταρήσιου (-0.83).



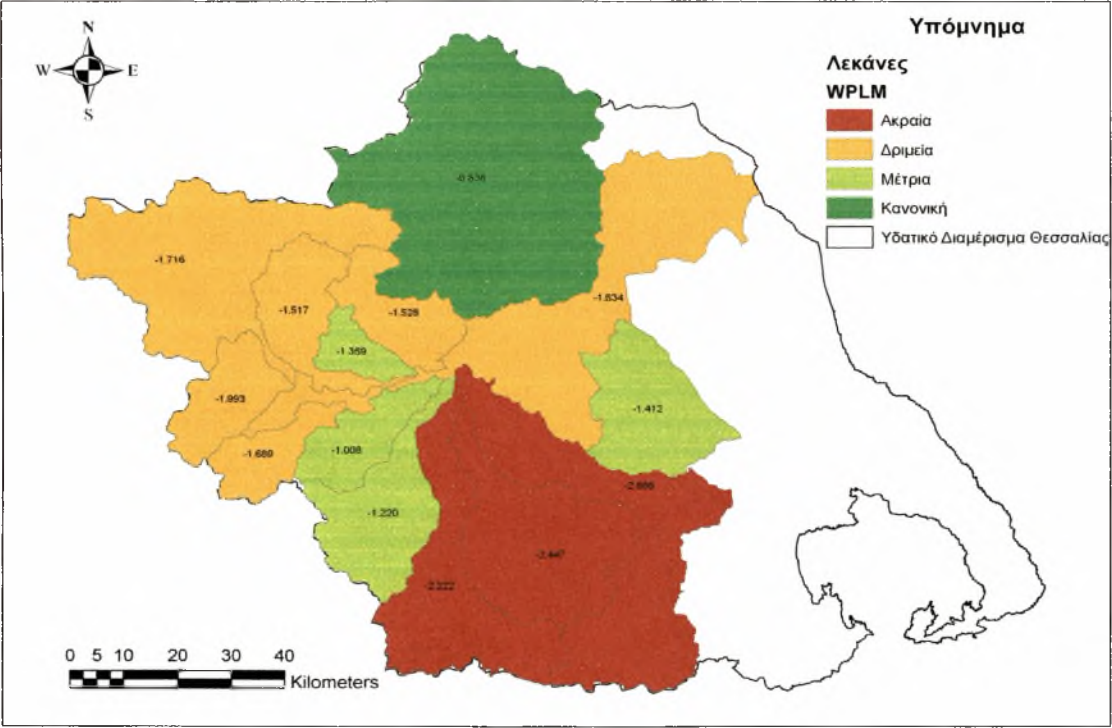
Σχήμα 5.31. Χωρική κατανομή του δείκτη Zij στη λεκάνη του Πηνειού (Μάιος 1977).



Σχήμα 5.32. Χωρική κατανομή του SPI-3 μηνών στη λεκάνη του Πηνειού (Μάιος 1977).



Σχήμα 5.33. Χωρική κατανομή του SPI-6 μηνών στη λεκάνη του Πηνειού (Μάιος 1977).



Σχήμα 5.34. Χωρική κατανομή του δείκτη WPLM στη λεκάνη του Πηνειού (Μάιος 1977).

Στο Σχήμα 5.32 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Μαΐου 1977 για τον SPI 3-μηνών. Παρατηρείται μια κλιμάκωση της ξηρασίας από τα δυτικά προς τα ανατολικά, όπου οι κατάστασή της διαφοροποιείται από ακραία προς δριμεία αντίστοιχα. Συγκεκριμένα οχτώ υπολεκάνες στις δυτικές περιοχές της συνολικής λεκάνης απορροής χαρακτηρίζονται από ακραία ξηρασία με μέγιστη τιμή -2.72 στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου, ενώ οι υπολεκάνες που βρίσκονται βόρεια (Τιταρήσιος) και νοτιοανατολικά (Ενιπέας, Φαρσαλιώτης) χαρακτηρίζονται από δριμύ ξηρασία. Εντούτοις, οι υπολεκάνες του Πηνειού και Κουσμπασανιώτη διέπονται από μέτρια ξηρασία όπου παρατηρείται και η ελάχιστη τιμή στο σύνολο των υπολεκανών (-1.47).

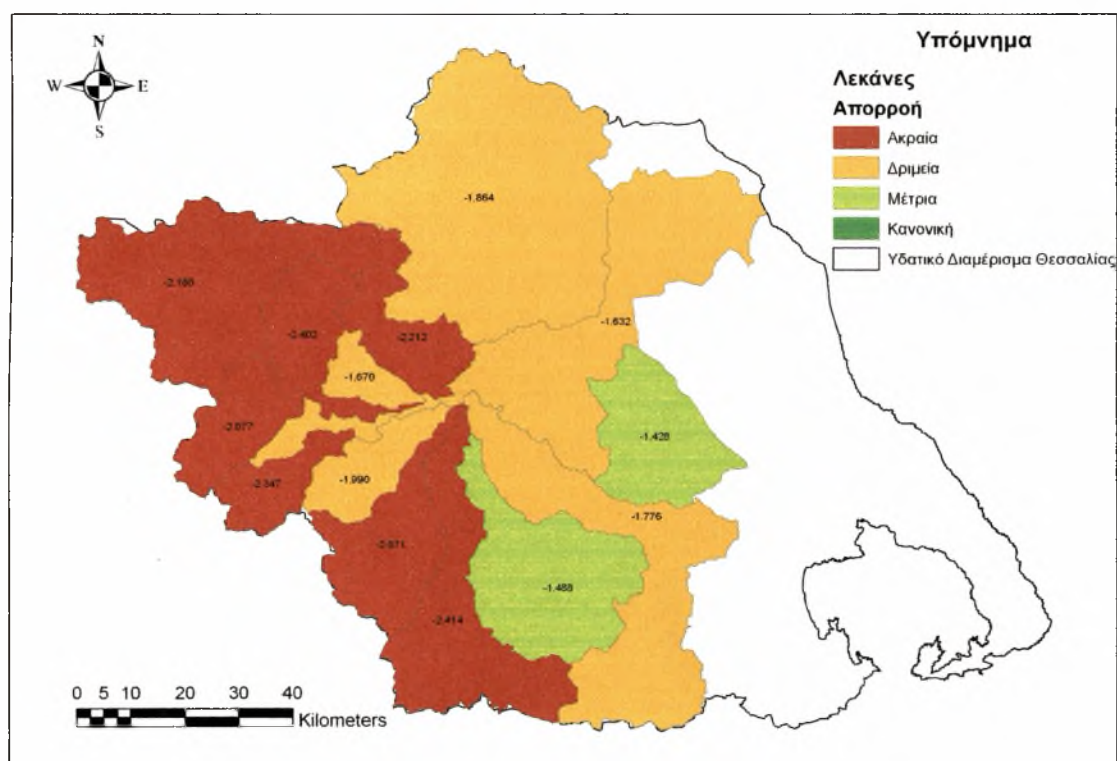
Στο Σχήμα 5.33 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Μαΐου 1977 για τον SPI 6-μηνών. Σε οχτώ υπολεκάνες που βρίσκονται νότια και κεντρικά της συνολικής λεκάνης απορροής παρατηρείται ακραία ξηρασία με μέγιστη τιμή -3.09 στην υπολεκάνη του Ενιπέα. Στα δυτικά η ξηρασία χαρακτηρίζεται δριμεία ενώ βόρεια στη λεκάνη του Τιταρήσιου παρουσιάζεται μέτρια με τιμή -1.25.

Αντίστοιχα στο Σχήμα 5.34 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του Μαΐου 1977 για τον δείκτη μετεωρολογικής ξηρασίας WPLM. Στην εικόνα αυτή παρουσιάζεται μια εντελώς διαφορετική κατάσταση όσων αφορά τη δριμύτητα της ξηρασίας, όπου οι συνθήκες της χαρακτηρίζονται εμφανώς ηπιότερες σε σχέση με τους προηγούμενους δείκτες. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ακραία ξηρασία μόνο στα νότια της λεκάνης απορροής στις υπολεκάνες Ενιπέας, Φαρσαλιώτης και Σοφαδίτης με μέγιστη τιμή σε αυτή του Ενιπέα. Αντίθετα με τα προηγούμενα σχήματα ο δείκτης WPLM στα κεντρικά και βόρεια της συνολικής λεκάνης παρουσιάζει δριμύ και μέτρια ξηρασία. Τέλος, στη λεκάνη του Τιταρήσιου ο δείκτης παίρνει την ελάχιστη τιμή του (-0.83, κανονική ξηρασία).

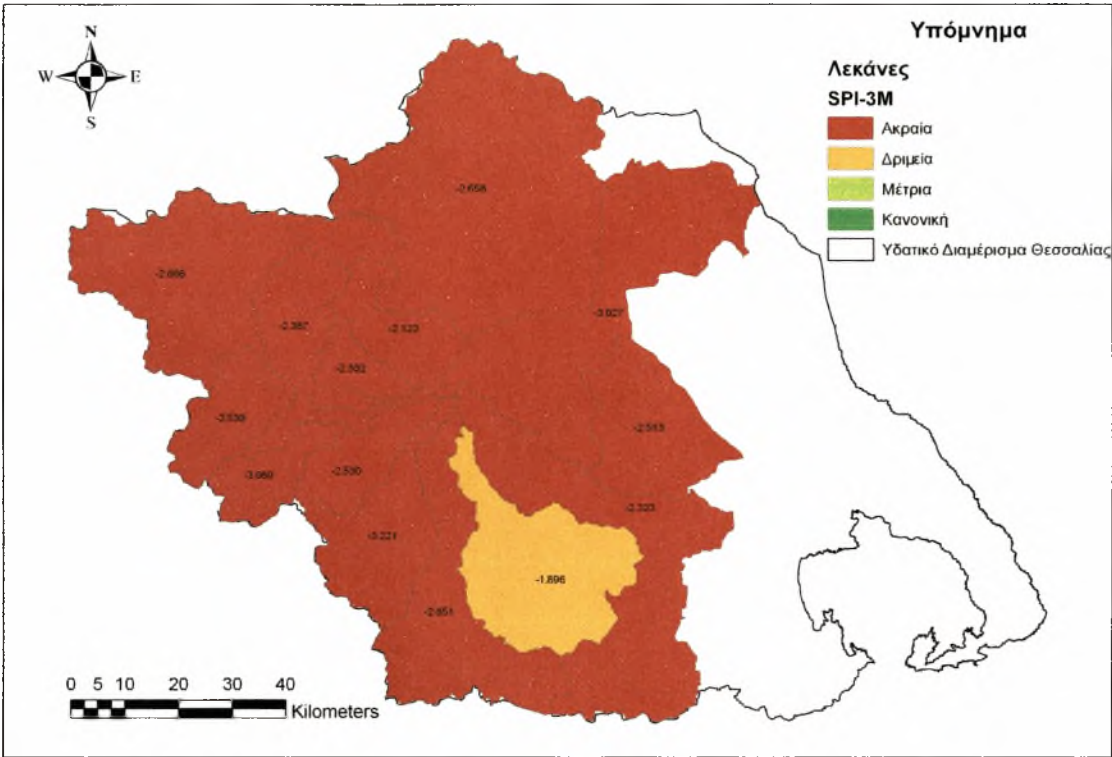
Συγκριτικά ο δείκτης SPI 6-μηνών αντικατοπτρίζει μια αντιπροσωπευτικότερη εκτίμηση σε σχέση με την υπάρχουσα υδρολογική ξηρασία στην υπό μελέτη λεκάνη απορροής. Ο SPI 6-μηνών συσχετίζεται σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό με το δείκτη υδρολογικής ξηρασίας σε όλο το πλήθος των υπολεκανών, με μοναδική εξαίρεση την υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη όπου υποδεικνύει ακραία κατάσταση ξηρασίας αντί τις κανονικής που δίνει ο Zij. Επιπλέον ο SPI 3-μηνών συνάδει επιμέρους με την εικόνα της υδρολογικής ξηρασίας, ενώ ο WPLM συσχετίζεται ανεπαρκώς.

2^η Περίπτωση : Μάρτιος 1990

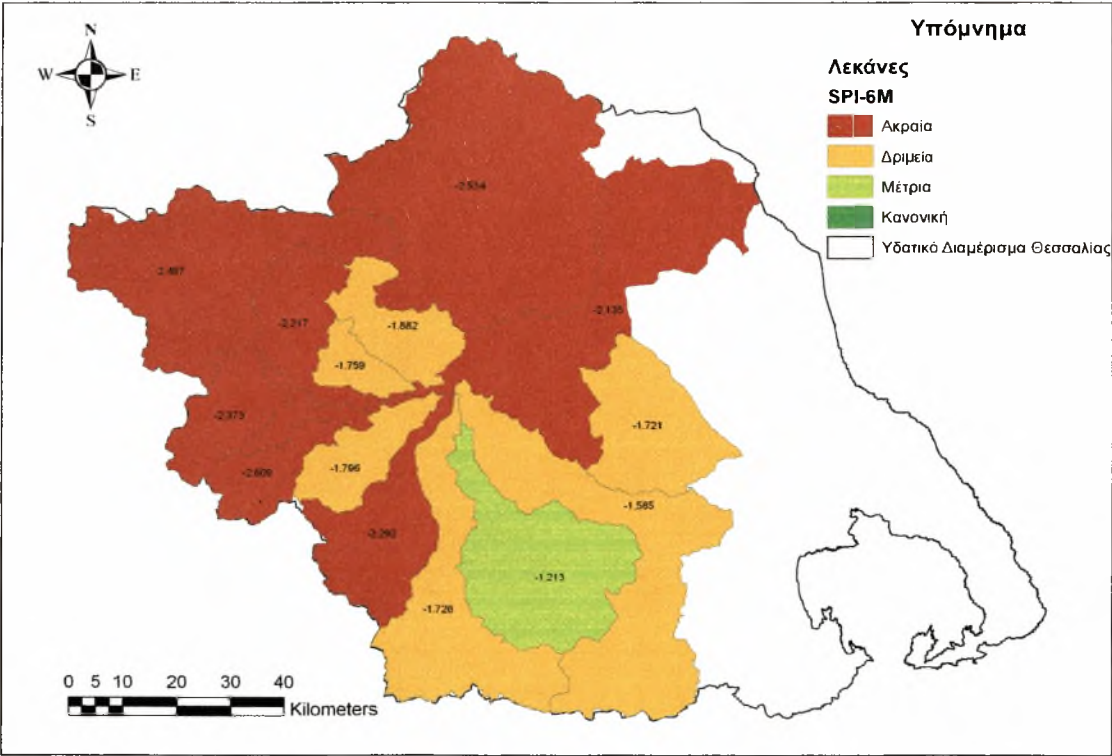
Στο Σχήμα 5.35 απεικονίζονται οι τιμές του υδρολογικού δείκτη Z_{ij} οι οποίες καταδεικνύουν το είδος της ξηρασίας σε κάθε υπολεκάνη για το Μάρτιο του 1990. Παρατηρείται κλιμάκωση της του χαρακτήρα του υδρολογικού δείκτη από τα δυτικά στα ανατολικά με επτά υπολεκάνες στα δυτικά να εμφανίζουν ακραία γεγονότα ενώ στα δυτικά δριμύ. Οι μόνες υπολεκάνες που εμφανίζουν μέτρια ξηρασία είναι αυτές του Κουσμπασανιώτη και Φαρσαλιώτη στα ανατολικά και νότια αντίστοιχα. Μέγιστη τιμή παρουσιάζεται στην υπολεκάνη του Σοφαδίτη (-2.41) ενώ ελάχιστη για ολόκληρη την λεκάνη απορροής είναι αυτή του Κουσμπασανιώτη (-1.43).



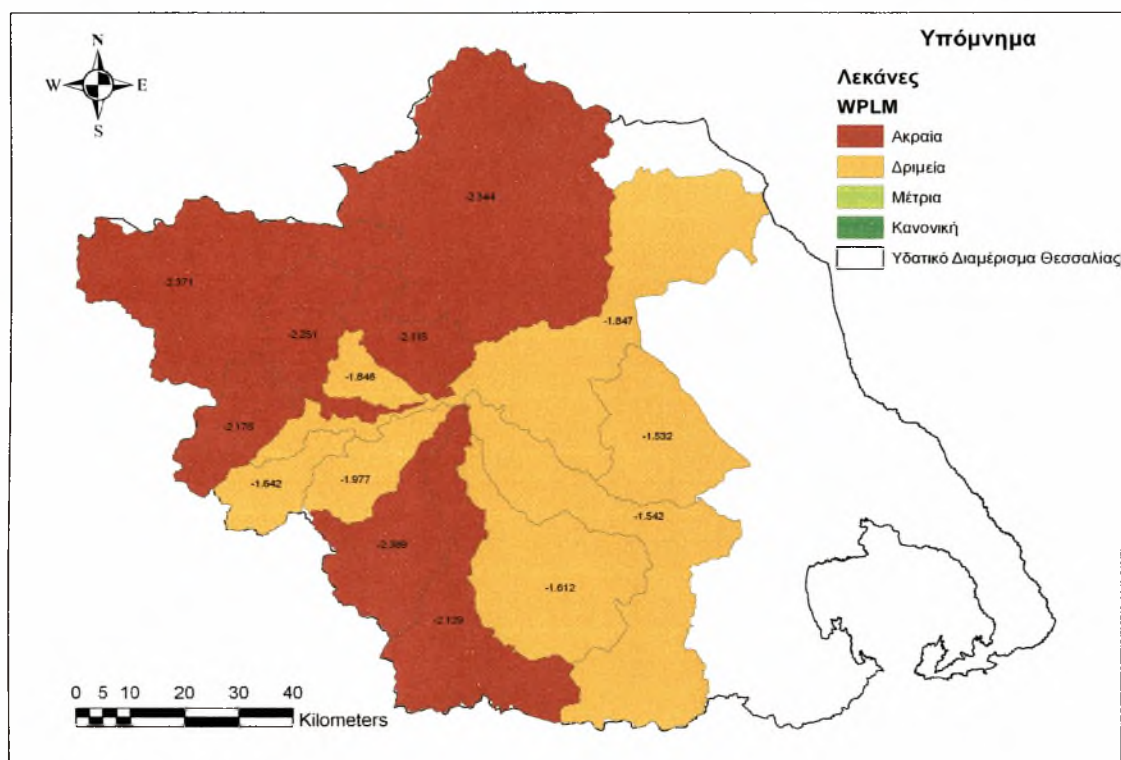
Σχήμα 5.35. Χωρική κατανομή του δείκτη Z_{ij} στη λεκάνη του Πηνειού (Μάρτιος 1990).



Σχήμα 5.36. Χωρική κατανομή του SPI-3 μηνών στη λεκάνη Πηνειού (Μάρτιος 1990).



Σχήμα 5.37. Χωρική κατανομή του SPI-6 μηνών στη λεκάνη Πηνειού (Μάρτιος 1990).



Σχήμα 5.38. Χωρική κατανομή του δείκτη WPLM στη λεκάνη Πηνειού (Μάρτιος 1990).

Στο Σχήμα 5.36 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Μαρτίου 1990 για τον SPI 3-μηνών. Ο δείκτης SPI 3-μηνών καταδεικνύει μια καθολική κατάσταση ακραίας ξηρασίας για όλη την λεκάνη απορροής η οποία κορυφώνεται στις υπολεκάνες Καλέντζη, Πάμισου και Πηνειού όπου ο δείκτης ξηρασίας παίρνει αρνητικές τιμές άνω του -3. Η μοναδική υπολεκάνη που αποτελεί εξαίρεση στην νόρμα ακραίας ξηρασίας που επιτάσσει ο συγκεκριμένος δείκτης είναι αυτή του Φαρσαλιώτη όπου η ξηρασία χαρακτηρίζεται ως δριμεία (-1.89).

Στο Σχήμα 5.37 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Μαρτίου 1990 για τον SPI 6-μηνών. Στην απεικόνιση αυτού του δείκτη παρατηρείται ένας εν μέρει διαχωρισμός της έκτασης της λεκάνης σχετικά με το βαθμό δριμύτητας της ξηρασίας. Ο διαχωρισμός αυτός έγκειται στο γεγονός ότι βόρεια και δυτικά της λεκάνης, σε σύνολο επτά υπολεκανών, η ξηρασία χαρακτηρίζεται ακραία με μέγιστη τιμή -2.6 στην υπολεκάνη του Πάμισου. Επιπλέον, νότια και ανατολικά της λεκάνης απορροής η οξύτητα των συνθηκών αμβλύνεται σε δριμύ ξηρασία. Εντέλει, στη λεκάνη του

Φαρσαλιώτη, η οποία βρίσκεται νότια της λεκάνης, ο δείκτης παίρνει τη μικρότερη τιμή ίση με -1.2.

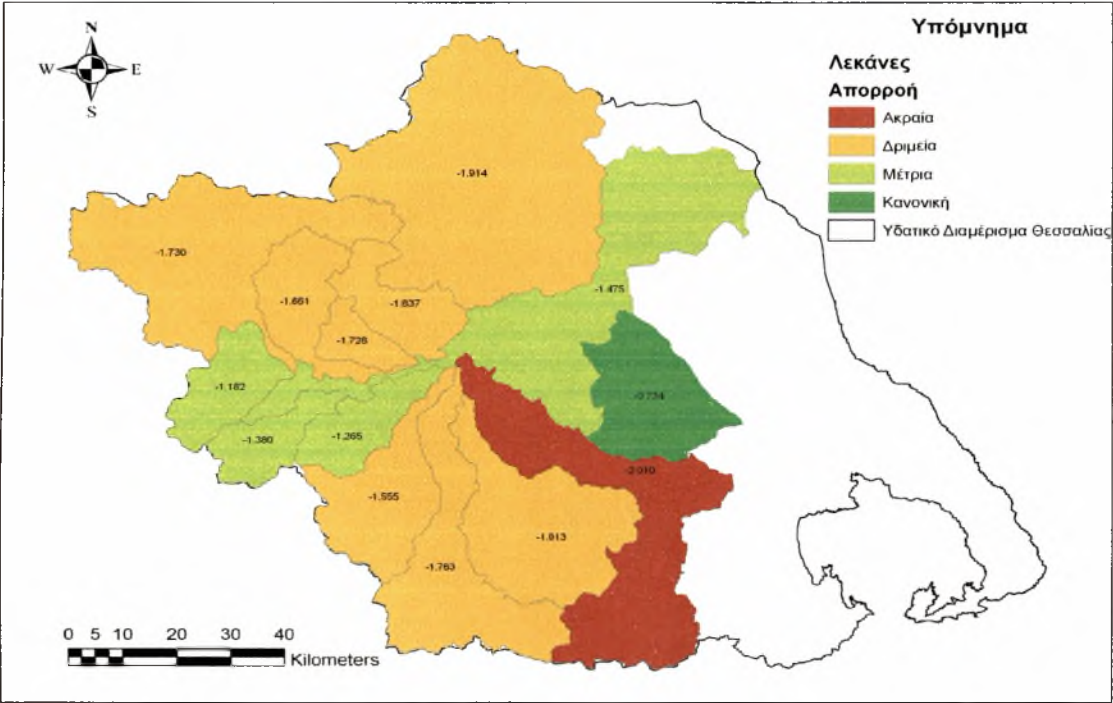
Στο Σχήμα 5.37 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Μαρτίου 1990 για τον μετεωρολογικό δείκτη WPLM. Μια ανάλογη κατάσταση με αυτή του δείκτη SPI 6-μηνών περιγράφεται και στο WPLM. Στην απεικόνιση αυτού του δείκτη οι υπολεκάνες που βρίσκονται βόρεια και δυτικά χαρακτηρίζονται από ακραία ξηρασία ενώ οι υπολεκάνες που βρίσκονται νότια και κεντρικά από δριμύ. Ο δείκτης ξηρασίας παίρνει μέγιστη τιμή στην υπολεκάνη του Καλέντζη με -2.39 και ελάχιστη σε αυτή του Κουσμπασανιώτη με -1.53.

Στη 2^η εξεταζόμενη περίπτωση συμπεραίνουμε ότι και ο δείκτης SPI 6-μηνών και ο WPLM συσχετίζονται ικανοποιητικά με την υδρολογική ξηρασία της υπό μελέτη λεκάνης απορροής. Οι όποιες διάφορες αναφορικά με το βαθμό συσχέτισης εντοπίζονται σε μεμονωμένες υπολεκάνες και αφορούν μικρής κλίμακας διαφοροποιήσεις στο χαρακτήρα της ξηρασίας. Εξάλλου, οι απεικονίσεις των δυο δεικτών υποδεικνύουν μια παρόμοια εικόνα της χωρικής κατανομής της ξηρασίας στο σύνολο της λεκάνης. Από την άλλη πλευρά, ο δείκτης SPI 3-μηνών παρουσιάζει ακραία κατάσταση ξηρασίας σε όλη τη λεκάνη απορροής, γεγονός που δεν συνδέεται με την απεικόνιση της υδρολογικής ξηρασίας.

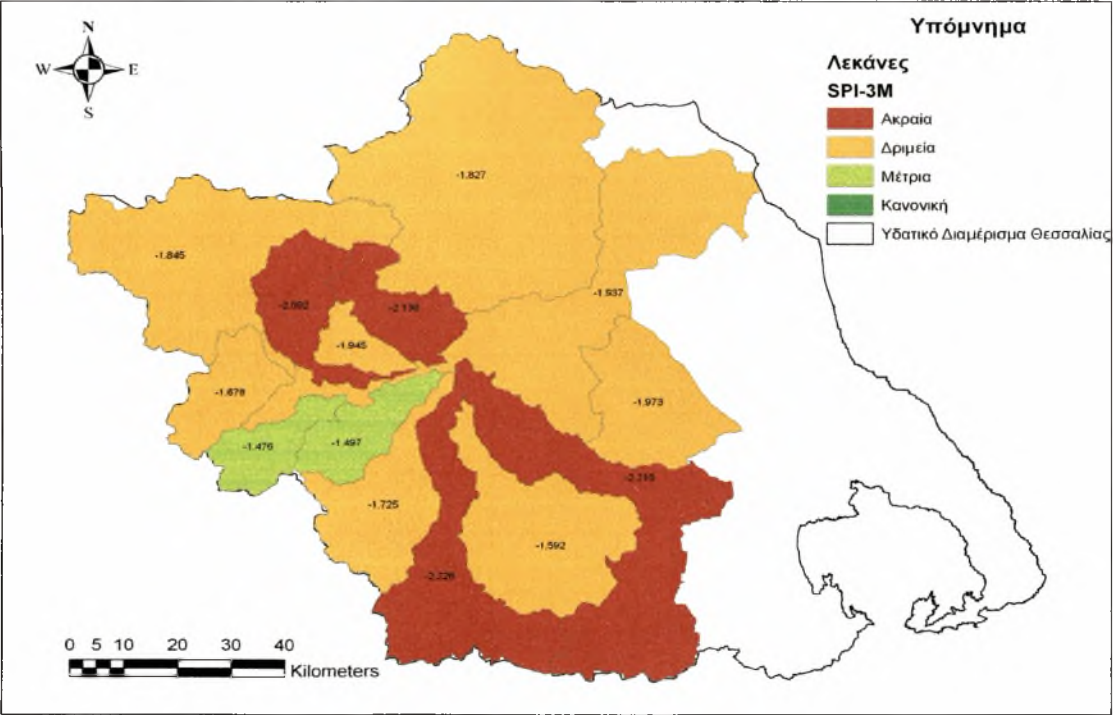
3^η Περίπτωση : Νοέμβριος 2001

Στο Σχήμα 5.39 παρουσιάζεται η χωρική κατανομή του δείκτη Z_{ij} στη λεκάνη του Πηνειού για το Νοέμβριο 2001. Στην απεικόνιση του χάρτη διαμορφώνεται μια τάση επιρροής του χαρακτήρα της ξηρασίας ανά ζώνες. Αναλυτικότερα, οι βόρειες υπολεκάνες της λεκάνης απορροής επηρεάζονται από δριμύ ξηρασία. Εντούτοις, οι κεντρικές υπολεκάνες του Πηνειού, Κουσμπασανιώτη, Πάμισου, Πλιούρη και Πορταϊκού διέπονται από μέτρια έως και κανονική ξηρασία. Στις υπολεκάνες που βρίσκονται στα νότια της λεκάνης ο χαρακτήρας της ξηρασίας είναι και πάλι δριμεία. Η μέγιστη τιμή του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας είναι -2.01 στη λεκάνη του Ενιππέα, η οποία είναι και η μοναδική υπολεκάνη με ακραία ξηρασία, ενώ η ελάχιστη τιμή

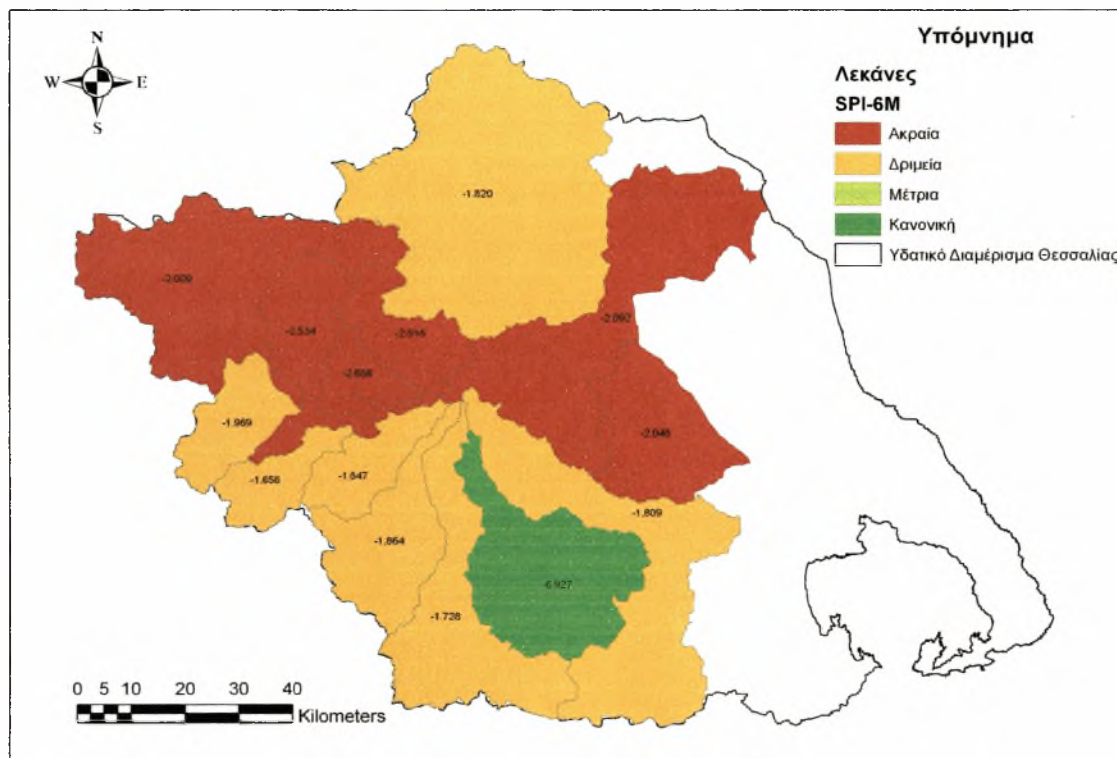
εντοπίζεται στη λεκάνη του Κουσμπασανιώτη (-0.73) που αποτελεί και την μοναδική υπολεκάνη με κανονική ξηρασία



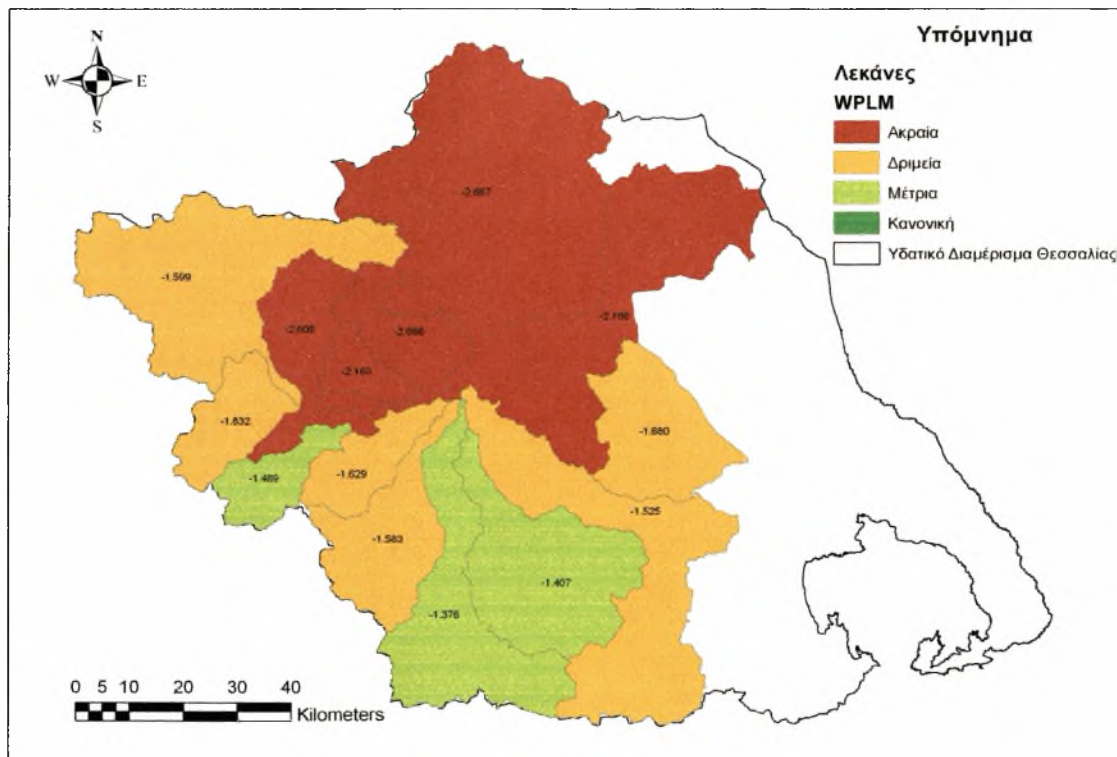
Σχήμα 5.39. Χωρική κατανομή του δείκτη Zij στη λεκάνη Πηνειού (Νοέμβριος 2001).



Σχήμα 5.40. Χωρική κατανομή του SPI-3 μηνών στη λεκάνη Πηνειού (Νοέμβριος 2001).



Σχήμα 5.41.Χωρική κατανομή του SPI-6 μηνών στη λεκάνη Πηνειού (Νοέμβριος 2001).



Σχήμα 5.42.Χωρική κατανομή του WPLM στη λεκάνη Πηνειού (Νοέμβριος 2001).

Στο Σχήμα 5.40 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Νοεμβρίου 2001 για τον μετεωρολογικό δείκτη SPI 3-μηνών. Το σύνολο της λεκάνης απορροής φαίνεται να παρουσιάζει δριμεία ξηρασία. Το πλήθος των υπολεκάνων που πλήττονται από δριμεία ξηρασία είναι οχτώ και κατανέμονται σε όλη την υπό μελέτη λεκάνη. Επιπλέον τέσσερις υπολεκάνες (Ληθαίος, Νεοχώρι, Ενιππέας, Σοφαδίτης) παρουσιάζουν ακραίες τιμές ενώ οι δυο γειτονικές υπολεκάνες του Πλιούρη και Πορταϊκού χαρακτηρίζονται από κανονική ξηρασία. Μέγιστη τιμή του δείκτη SPI 3-μηνών εντοπίζεται σε αυτή του Σοφαδίτη με τιμή -2.22 και ελάχιστη σε όλη την λεκάνη απορροής σε αυτή του Πορταϊκού (-1.47).

Στο Σχήμα 5.41 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Νοεμβρίου 2001 για τον μετεωρολογικό δείκτη SPI 6-μηνών. Στις υπολεκάνες που βρίσκονται στο βόρειο τμήμα της λεκάνης απορροής συναντάται βαθμός ακραίας ξηρασίας με εξαίρεση αυτή του Τιταρήσιου (δριμεία), ενώ στις υπόλοιπες υπολεκάνες που βρίσκονται στο νότιο τμήμα παρατηρείται δριμεία ξηρασία. Εξαίρεση αποτελεί η υπολεκάνη του Φαρσαλιώτη που εντοπίζεται κανονική ξηρασία με τιμή -0.93.

Στο Σχήμα 5.41 απεικονίζονται τα αποτελέσματα της μελέτης του Νοεμβρίου 2001 για τον μετεωρολογικό δείκτη WPLM. Στην εικόνα αυτή το δυτικό και νότιο τμήμα της λεκάνης απορροής παρουσιάζει στο μεγαλύτερο ποσοστό της δριμύ ξηρασία με εξαίρεση τις υπολεκάνες του Φαρσαλιώτη, Σοφαδίτη και Πορταϊκού όπου και οι τρεις εμφανίζουν μέτριο χαρακτήρα ξηρασίας. Το κεντρικό και βόρειο τμήμα όμως πλήττεται από ακραία ξηρασία με μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται σε δυο υπολεκάνες (Τιταρήσιος, Νεοχώρι) με τιμή -2.66.

Συγκριτικά με την απεικόνιση του υδρολογικού δείκτη Zij για τον Νοέμβριο 2001 καλύτερη συσχέτιση φαίνεται να δίνει ο SPI 3-μηνών. Αν και στις εικόνες της χωρικής κατανομής του Zij και SPI 3-μηνών εντοπίζονται διαφοροποιήσεις σε αντίστοιχες υπολεκάνες, εντούτοις οι διαφορές αυτές αφορούν μικρής κλίμακας βαθμό ξηρασίας. Η συνολική εικόνα όμως του SPI 3-μηνών αντικατοπτρίζει την υφιστάμενη κατάσταση της υδρολογικής ξηρασίας.

Η παρούσα εργασία επικεντρώθηκε στην εκτίμηση της ξηρασίας με διαφορετικούς δείκτες καθώς και χρονική και χωρική σύγκριση αυτών των εκτιμήσεων στην λεκάνη απορροής του Πηνειού ποταμού. Βασίστηκε στη σύγκριση των υπολογιζόμενων τιμών δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας και πιο συγκεκριμένα του κανονικοποιημένου δείκτη βροχόπτωσης SPI για χρονικές κλίμακες 1-, 3-, 6-, 9-, 12-, 24- μηνών, των δεικτών Palmer (PDSI, PHDI, Palmer Z-index, Weighted Palmer), σε σχέση με τις υπολογιζόμενες τιμές του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} . Ο υπολογισμός των παραπάνω δεικτών συνδέεται με την εκτίμηση της επιφανειακής μηνιαίας βροχόπτωσης, θερμοκρασίας και εξατμισοδιαπνοής για περίοδο βάσης 42 υδρολογικών ετών (1960-61 έως 2001-02).

Η χρονική συσχέτιση των δεικτών μετεωρολογικής ξηρασίας με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας έδειξε ότι από τους μετεωρολογικούς δείκτες PDSI καλύτερο συντελεστή συσχέτισης έδωσε ο σταθμισμένος δείκτης PDSI (WPLM) ενώ από τον μετεωρολογικό δείκτη ξηρασίας SPI τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά όσο αφορά την χρονική κλίμακα του SPI. Σε όλες όμως τις υπολεκάνες ο συντελεστής συσχέτισης του δείκτη SPI ήταν μεγαλύτερος από αυτόν του σταθμισμένου δείκτη Palmer (WPLM), ωστόσο σε υπολεκάνες που βρίσκονται σε περιοχές με έντονα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και οι δυο δείκτες δείχνουν μεγάλη συσχέτιση $r > 0.80$ με αποτέλεσμα να εντοπίζουν εξίσου με ακρίβεια γεγονότα υδρολογικής ξηρασίας.

Η μηνιαία συσχέτιση όμως των δεικτών έδειξε ότι το φθινόπωρο και στις αρχές των χειμερινών μηνών ο δείκτης SPI, για όποια χρονική κλίμακα έχει επιλέγει σαν καλύτερος για κάθε υπολεκάνη, δείχνει καλύτερη συσχέτιση με τον υδρολογικό σε όλη την περιοχή μελέτης $r > 0.90$ (Παράρτημα Β). Αντίθετα την άνοιξη και τους καλοκαιρινούς μήνες η συσχέτιση του WPLM αυξάνεται σημαντικά ενώ του SPI μειώνεται γεγονός που καθιστά και τους δυο ικανούς να προσδιορίσουν εξίσου ακραία γεγονότα σε αυτές τις περιόδους.

Για την χρονική ανάλυση και σύγκριση των μετεωρολογικών δεικτών (SPI, PDSI) με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} απομονώθηκαν τα γεγονότα ξηρασίας, δηλαδή τιμές των δεικτών μικρότερες ή ίσες του -1, δημιουργώντας περιόδους ξηρασίας τόσο με μικρή όσο και με μεγάλη διάρκεια. Η χρονική αυτή ανάλυση έδειξε ότι η περιοχή αυτή πλήττεται αρκετά συχνά από μέτριες και δριμεία ξηρασίες σε μηνιαία βάση. Από την παραπάνω ανάλυση διαπιστώθηκε ότι ο δείκτης μετεωρολογικής ξηρασίας SPI, οποία και αν είναι η χρονική του κλίμακα, συμφωνεί σε μεγάλο βαθμό με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} τόσο σε ποσοστό εμφάνισης όσο και σε διάρκεια των γεγονότων. Αντίθετα ο σταθμισμένος δείκτης Palmer (WPLM) δίνει διαφορετικά αποτελέσματα κυρίως σε ποσοστά εμφάνισης μέτριας ξηρασίας. Όσο αφορά όμως τον αριθμό των γεγονότων αναδεικνύει την ίδια δυναμική με τον SPI. Πολύ σημαντικό συμπέρασμα είναι ότι η μέση διάρκεια που εμφανίζουν τα γεγονότα του WPLM είναι διπλάσια σχεδόν από αυτά που παρουσιάζει ο δείκτης SPI. Παρόμοια αποτελέσματα και συμπεράσματα έχει καταλήξει πρόσφατη ερευνα (Vasiliades and Loukas, 2007). Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι ο μετεωρολογικός δείκτης SPI αντικατοπτρίζει καλύτερα την εικόνα που παρουσιάζει ο υδρολογικός δείκτης Z_{ij} απ'ότι ο σταθμισμένος δείκτης Palmer.

Όπως αναφέραμε και προηγούμενα η περιοχή της λεκάνης απορροής του Πηνειού πλήττεται συχνά από μέτριες και δριμείες ξηρασίες. Τέτοιες παρατεταμένες ξηρασίες είχαμε κατά τις περιόδους 1976-1978, 1987-1990 και 2000-2002. Κρίθηκε λοιπόν σκόπιμο να εξετάσουμε την συμπεριφορά των μετεωρολογικών δεικτών σε σχέση με τον υδρολογικό δείκτη σε αυτές τις περιόδους για να δούμε πόσο συσχετίζονται σε δριμύ γεγονότα με μεγάλη διάρκεια. Για το σκοπό αυτό απομονώθηκαν τα γεγονότα ξηρασίας, τιμές μικρότερες ή ίσες του -1, και υπολογίστηκαν οι ακρότατες τιμές τους, ο μήνας που σημειώθηκαν καθώς και η μέση τιμή που προσδιορίζει την ταυτότητα (κλάση) του γεγονότος.

Στα αποτελέσματα τις παραπάνω ανάλυσης διαπιστώνεται μια σημαντική διαφορά των δυο μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM. Ο δείκτης SPI προειδοποιεί την ξηρασία και πιο συγκεκριμένα εμφανίζει μέγιστη τιμή νωρίτερα από τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} , σε αντίθεση με τον WPLM που εμφανίζει ακρότατο αργότερα από τον υδρολογικό δείκτη και στις τρεις προαναφερθείσες περιόδους. Όσο αφορά όμως τον

χαρακτήρα της ξηρασίας ο δείκτης SPI, στο μεγαλύτερο ποσοστό έκτασης της λεκάνης, ταυτίζεται με τον χαρακτήρα της ξηρασίας (δριμεία) που παρουσιάζει ο υδρολογικός δείκτης Z_{ij} τόσο στη πρώτη (1976-1978) όσο και στη δεύτερη περίοδο. Ωστόσο στη τρίτη περίοδο ο χαρακτήρας του WPLM δεν ταυτίζονται με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} , γεγονός που επαληθεύει την μη καλή συσχέτισή τους. Επιπρόσθετα, ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα της ανωτέρω ανάλυσης είναι το γεγονός ότι ο μετεωρολογικός δείκτης WPLM δίνει σαφώς μεγαλύτερη διάρκεια από τον SPI σε σύγκριση πάντα με τον υδρολογικό Z_{ij} και για τις τρεις περιόδους ξηρασίας που εξετάσαμε.

Στη χωρική ανάλυση των δεικτών ξηρασίας συλλέχθηκαν οι τιμές των μετεωρολογικών δεικτών SPI 3-μηνών, SPI 6-μηνών, WPLM και του δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} για τους μήνες που θεωρήθηκαν ακραίοι μέσα στις περιόδους των υδρολογικών ετών 1976-1978, 1987-1990 και 2000-2002. Μετά την σύγκριση διαπιστώθηκε ότι κατά την 1^η περίπτωση (Μάιος 1977) το μεγαλύτερο μέρος, κυρίως τα νότια και κεντρικά, της λεκάνης απορροής επλήγησαν από ακραία ξηρασία και ο δείκτης που αντικατοπτρίζει αυτή τη κατάσταση είναι αυτός των 6-μηνών SPI. Στη 2^η εξεταζόμενη περίπτωση (Μάρτιος 1990) συμπεραίνουμε ότι και ο δείκτης SPI 6-μηνών και ο WPLM συσχετίζονται ικανοποιητικά με την εικόνα του υδρολογικού δείκτη, καθώς οι όποιες διάφορες αναφορικά με το βαθμό συσχέτισης εντοπίζονται σε μεμονωμένες υπολεκάνες και αφορούν μικρής κλίμακας ενώ στη 3^η περίπτωση (Νοέμβριος 2001) αν και στις εικόνες της χωρικής κατανομής του Z_{ij} και SPI 3-μηνών εντοπίζονται διαφοροποιήσεις σε αντίστοιχες υπολεκάνες, εντούτοις οι διαφορές αυτές αφορούν μικρής κλίμακας βαθμό ξηρασίας. Η συνολική εικόνα όμως του SPI 3-μηνών αντικατοπτρίζει την υφιστάμενη κατάσταση που εκφράζεται από τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} .

Από την χρονική και χωρική σύγκριση των μετεωρολογικών δεικτών συμπεραίνεται ότι ο SPI αναδεικνύει μεγαλύτερη δυναμική από τον σταθμισμένο δείκτη Palmer (WPLM) κυρίως σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο, ενώ σε ορεινές περιοχές και οι δυο εμφανίζουν καλύτερα αποτελέσματα σε σύγκριση πάντα με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας. Πρέπει να τονίσουμε όμως ότι και οι δυο είναι σημαντικά εργαλεία ανάλυσης ιστορικών γεγονότων ξηρασίας αφού σε γενικές γραμμές περιγράφουν αρκετά ικανοποιητικά την υφισταμένη ιστορική υδρολογική ξηρασία.

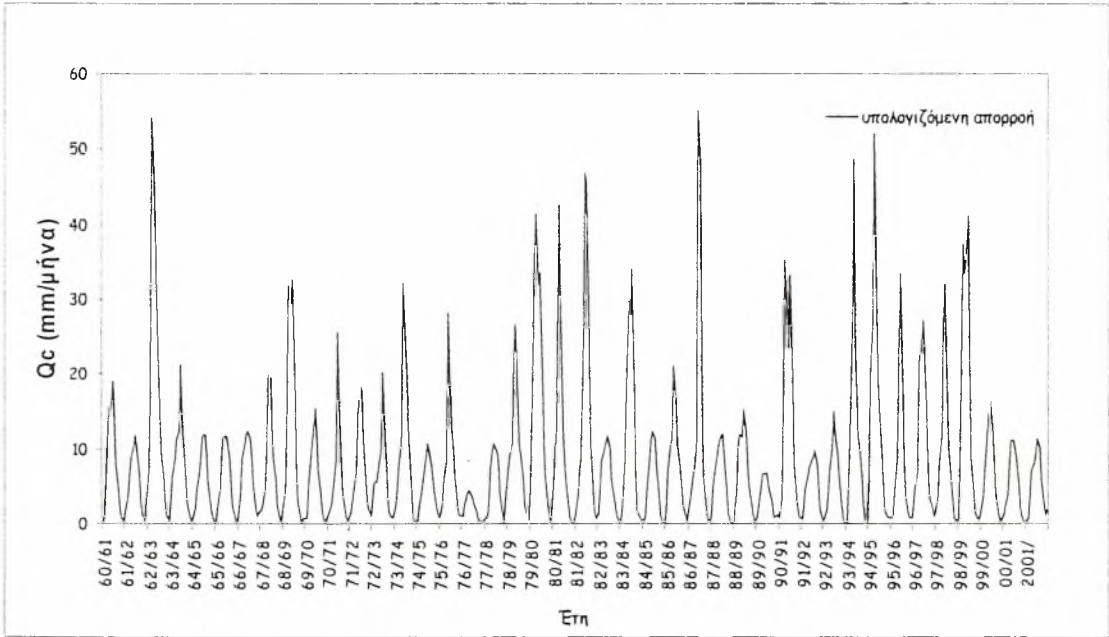
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Box, George E. P.; Cox, D. R., 1964. "An analysis of transformations". Journal of Royal Statistical Society, Series B 26: 211-246.
- Gibbs WJ, 1987: A Drought Watch System. World Climate Programme. WMO/TD No.193, wcp-134, 1-22.
- Hayes M, 2000: Revising the SPI: clarifying the process. Drought Network News, 12(1), 13-14.
- Heddinghaus T.R., Sabol P., 1991. A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here? Preprints, Seventh Conf.. on Applied Climatology, Salt Lake City, UT, Amer. Meteor. Soc., 242-246
- Karl TR, Knight RW, Ezell DS and Quinlan FT, 1986: Probabilities and precipitation required to end/ameliorate droughts. Historical Climatology Series, 3-16, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Loukas A. and Vasiliades L.: Probabilistic analysis of drought spatiotemporal characteristics in Thessaly region, Greece. NHESS - Volume 4, Number 5/6, 2004, Page(s) 719-731
- Loukas, A., Mylopoulos, N., Vasiliades, L., 2007. A modeling system for the evaluation of water resources management strategies in Thessaly, Greece. Water Resour. Manag., 21(10), 1673-1702
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales, Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- Meyer SJ, Hubbard KG and Wilhite DA, 1993: A crop-specific drought index for corn: I. Model development and validation. Agronomy Journal, 86, 388-395.
- National Drought Mitigation Center (NDMC). 2002: Available online at <http://enso.unl.edu/ndmc/watch/watch.html>
- Palmer W.C., 1965. Meteorological Drought. Research Paper No 45, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C., 58 pp

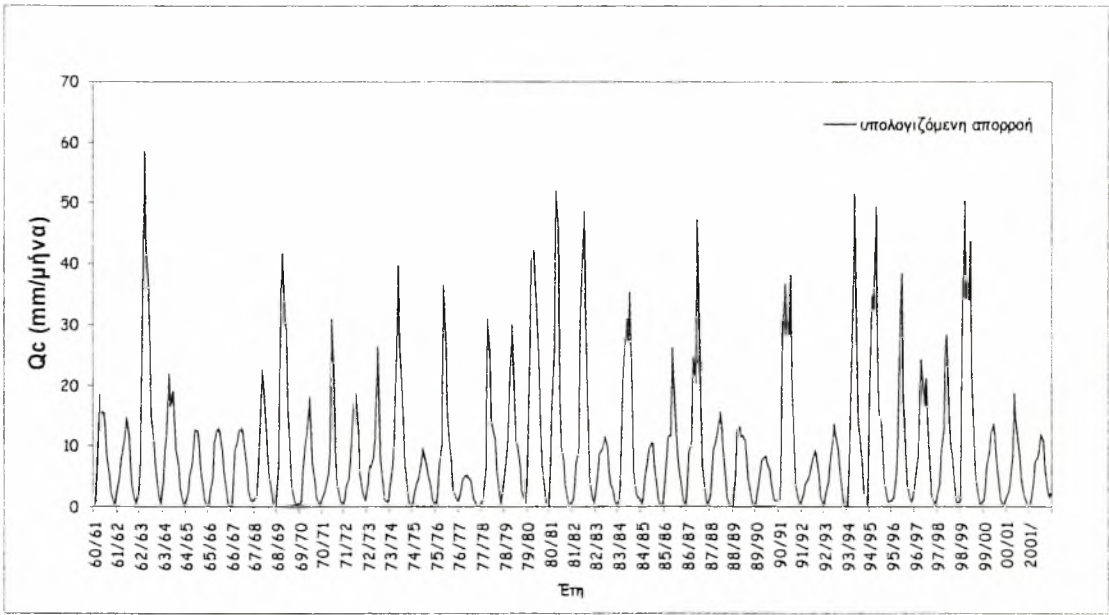
- Palmer WC, 1968: Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21, 156-161.
- Panofsky HA and Brier WG, 1958: *Some Applications of Statistics to Meteorology*. Pennsylvania State University, University Park, 224p.
- Redmond, K. T.: The depiction of drought, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 83, 1143-1147, 2002
- Semadeni – Davies, A., 1997, Radiation balance of urban snow: a water management perspective, *Cold Regions Science and Technology*, Volume 33, Number 1, October 2001 , pp. 59-76(18)
- Thom HCS, 1958: A note on the gamma distribution. *Mon. Weatehr Rev.*, 86, 117-122.
- Thornthwaite WC, 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.* 38, 55-94.
- Vandewiele and Win, 1998. Monthly water balance models for 55 basins in 10 countries *GL Hydrolog. Sci. J*
- Vasiliades L., Loukas A., 2007, Hydrological response to meteorological drought using the Palmer's drought indices in Thessaly, *Desalination*, (accepted for puplicaton).
- Western Regional Climate Center (WRCC). 2002: Standardized Precipitation Index. <http://www.wrcc.dri.edu/spi.html>
- Wilhite, D.A. and Glantz, M. H.,: Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, *Water International*, 10, 111-120, 1985.
- Παμαμιχαήλ Μ. Δ., 2001, *Τεχνική Υδρολογία Επιφανειακών Υδάτων*, Εκδόσεις Παχούδη.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

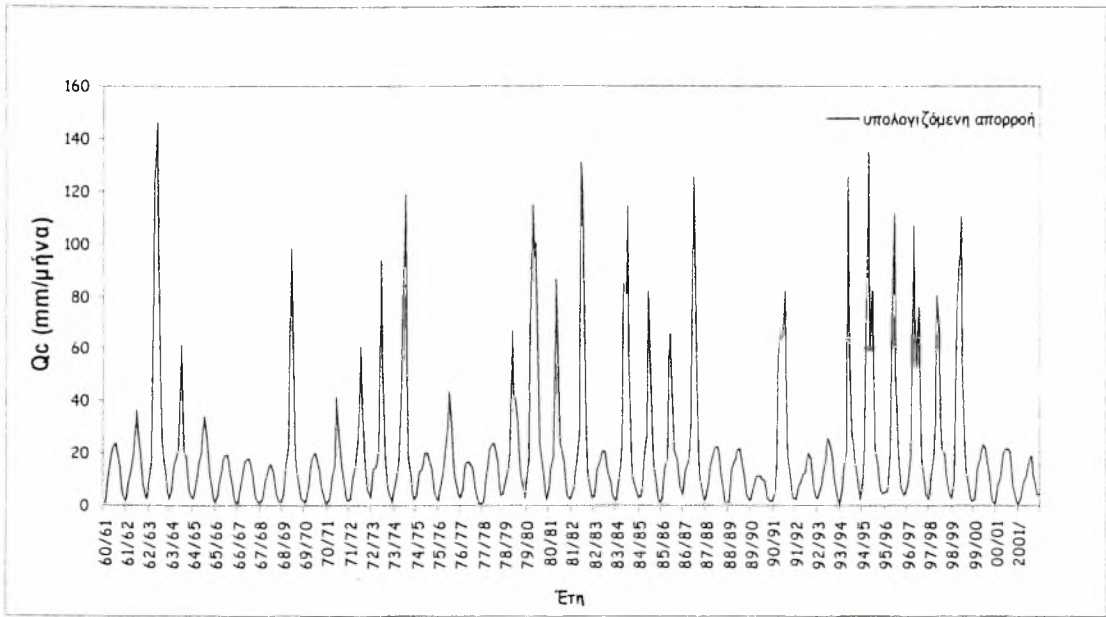
**ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΕΝΩΝ ΑΠΟΡΡΟΩΝ ΤΩΝ
ΥΠΟΛΕΚΑΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΕΚΑΝΗ ΑΠΟΡΡΟΗΣ ΤΟΥ ΠΗΝΕΙΟΥ
ΠΟΤΑΜΟΥ**



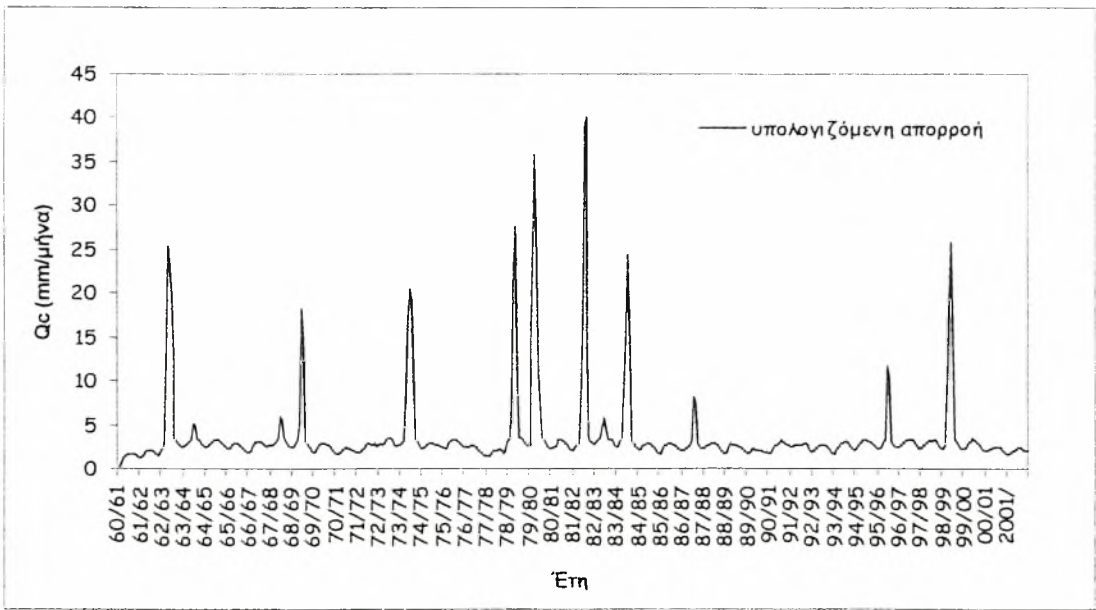
Σχήμα Α1. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Ενιπέα



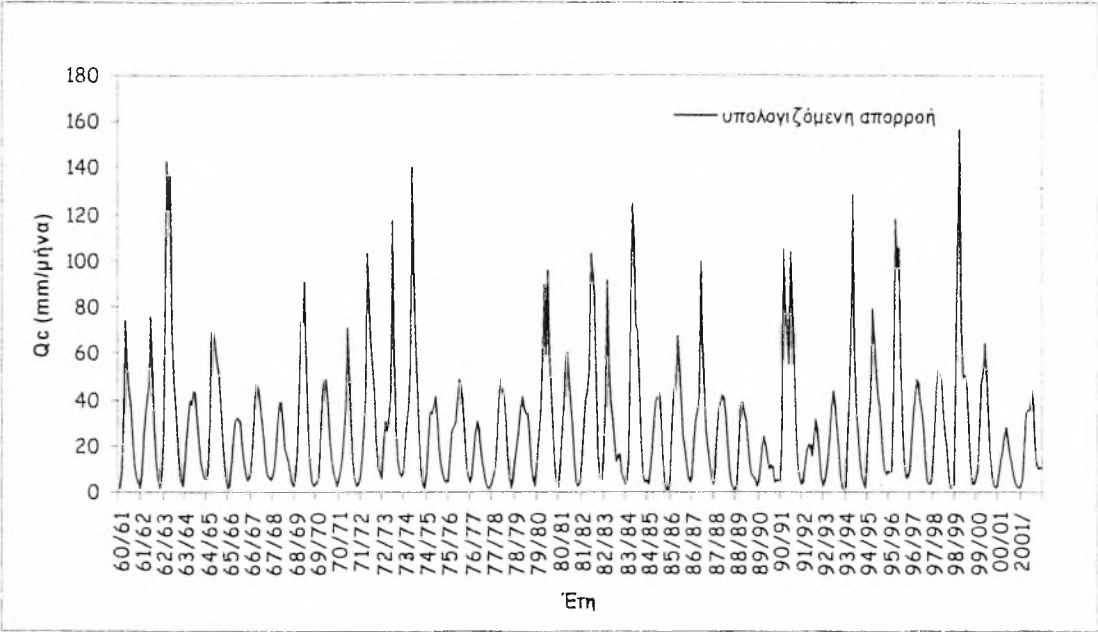
Σχήμα Α2. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Φαρσαλιώτη



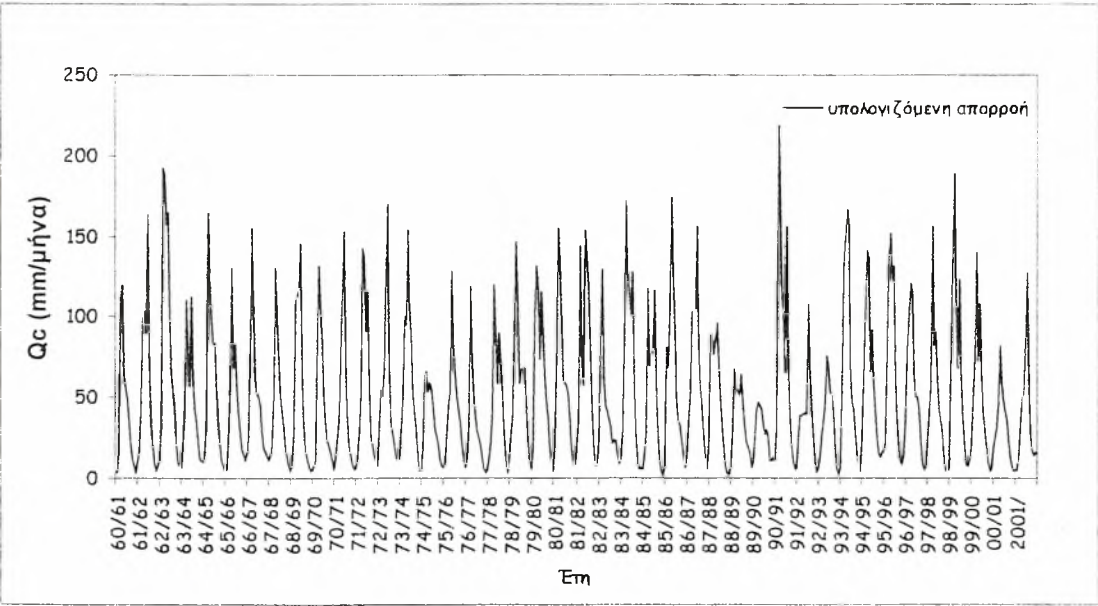
Σχήμα Α3. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Καλέντζη



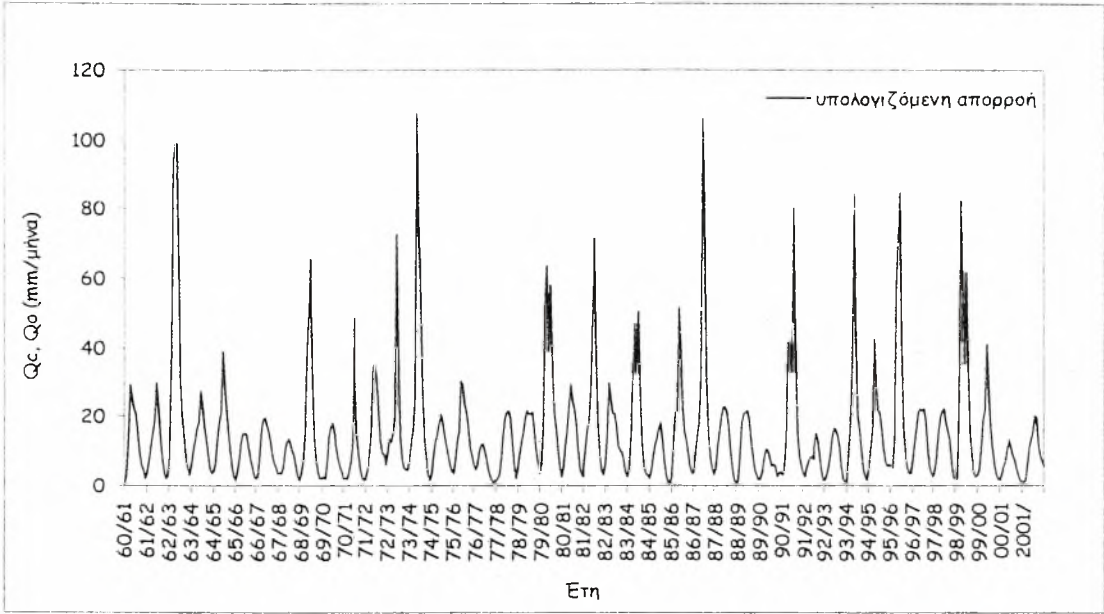
Σχήμα Α4. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Κουσμπασανιώτη.



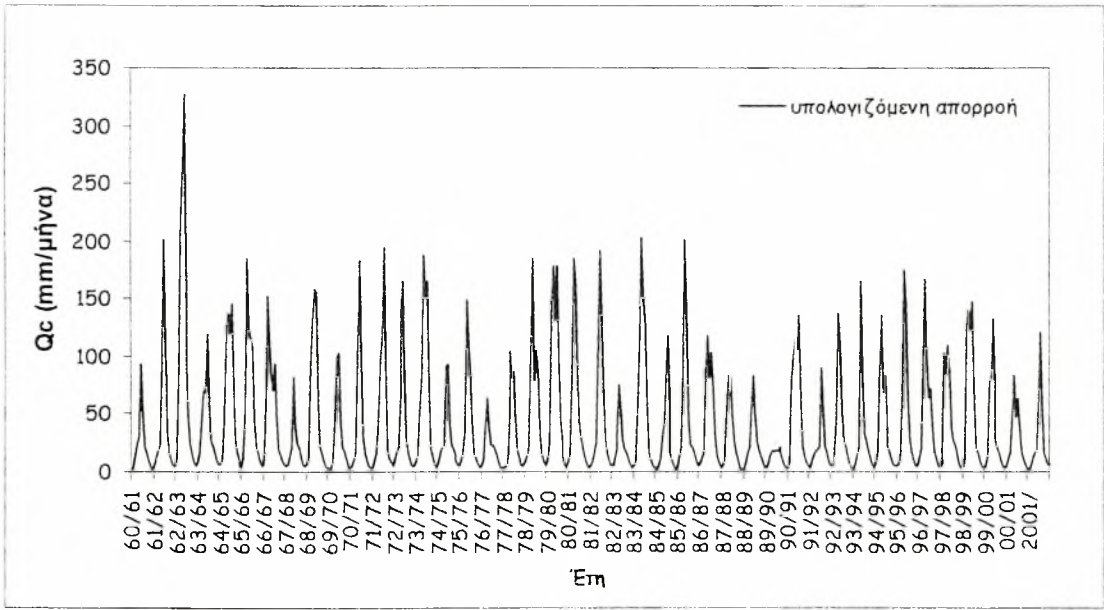
Σχήμα Α5. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Ληθαίου.



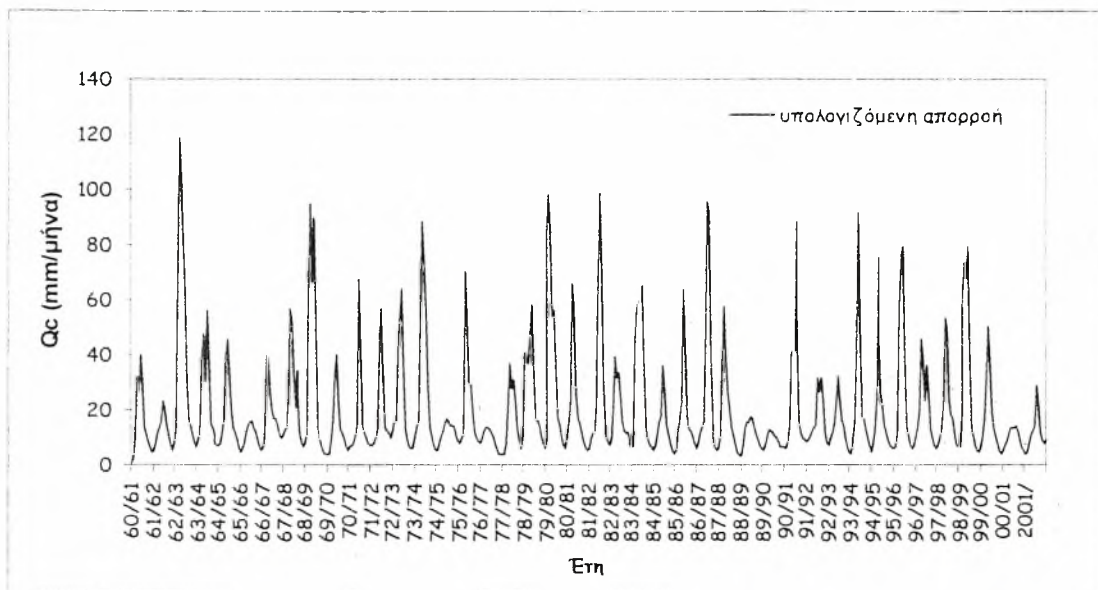
Σχήμα Α6. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Μεσδανίου



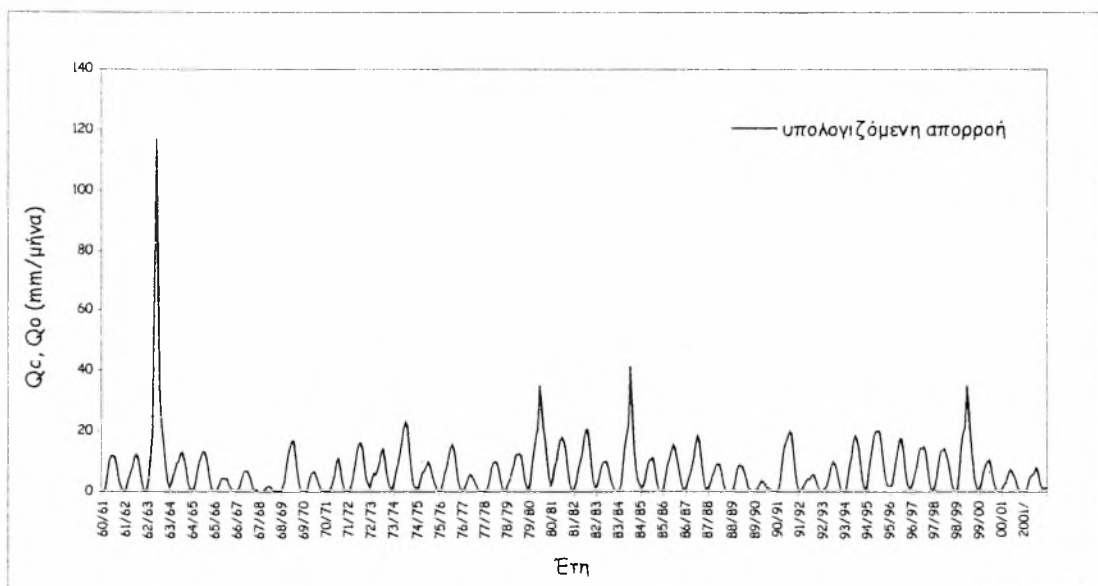
Σχήμα Α7. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Νεοχωρίου



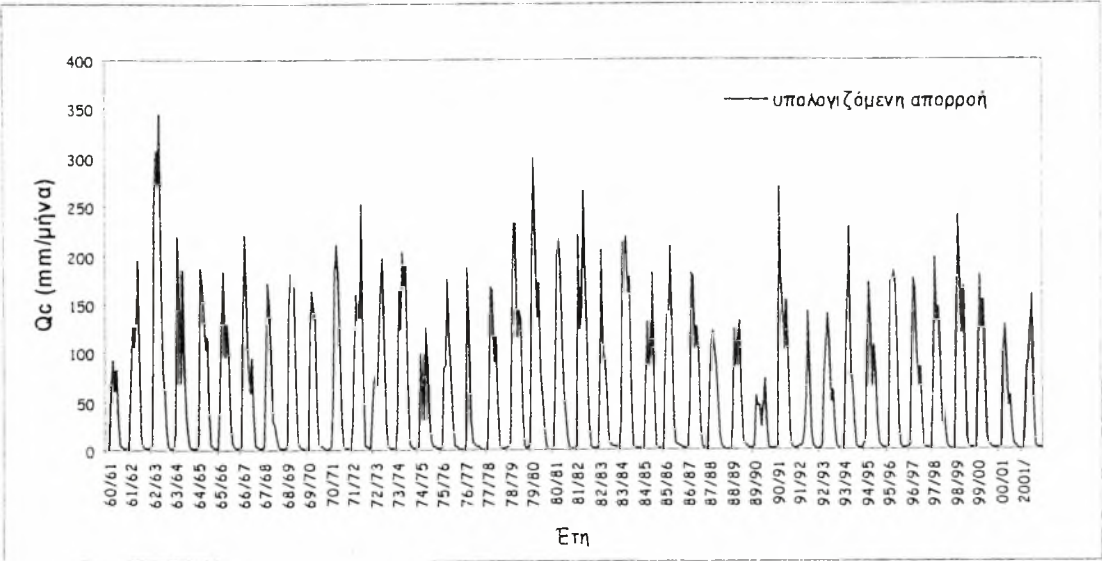
Σχήμα Α8. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Πάμισου



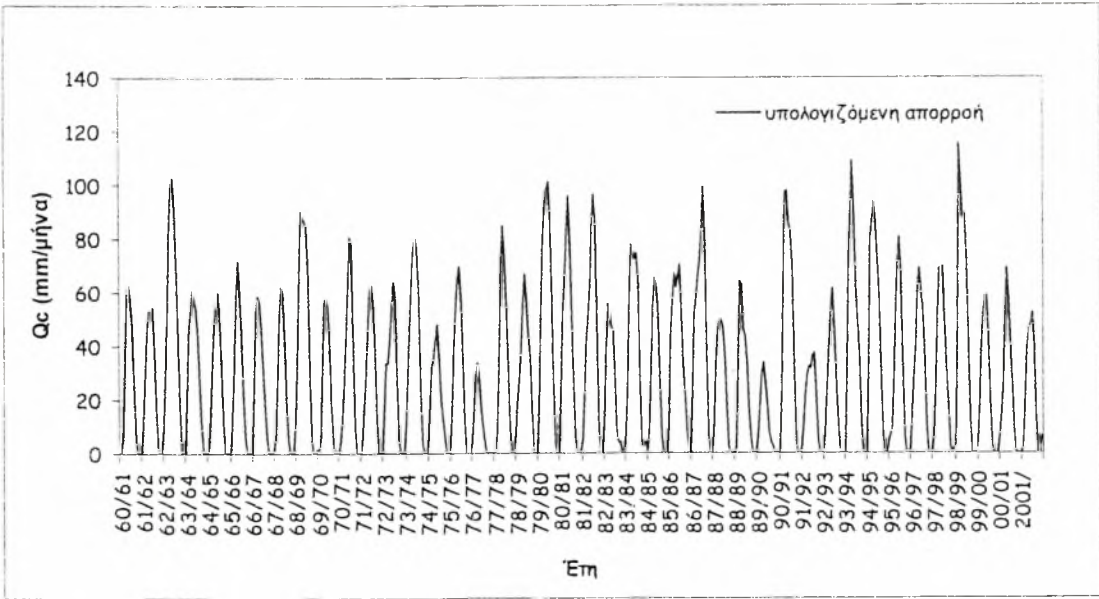
Σχήμα Α9. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Πηνειού.



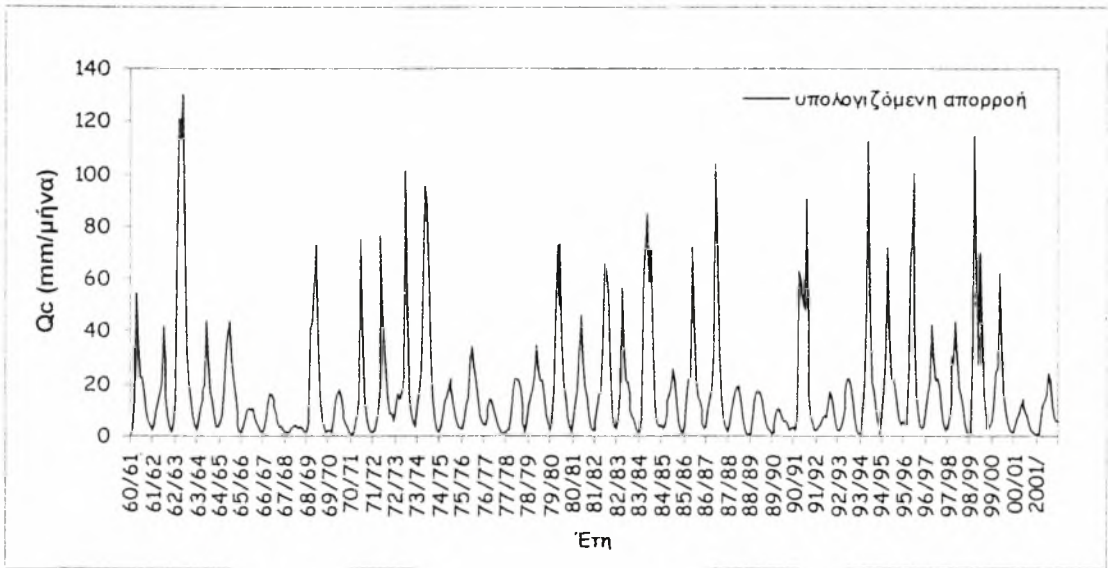
Σχήμα Α10. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Πιλιούρη.



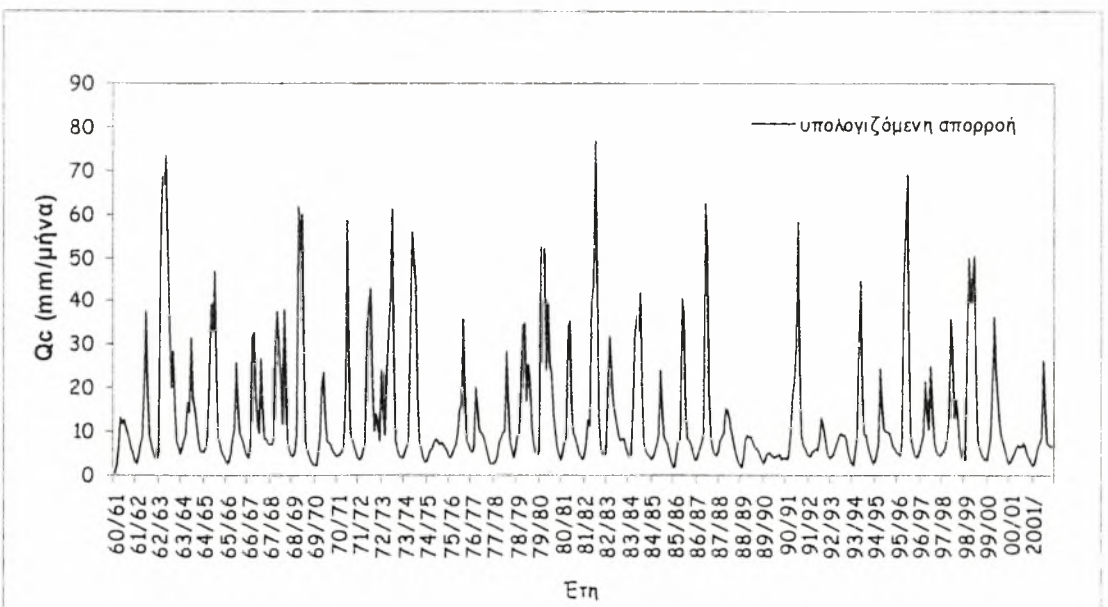
Σχήμα Α11. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Πορταϊκού.



Σχήμα Α12. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Σοφαδίτη



Σχήμα Α13. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης της Θεόπετρας



Σχήμα Α14. Χρονοσειρά απορροών της υπολεκάνης του Τιταρήσιου

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΙΝΑΚΕΣ ΜΗΝΙΑΙΩΝ ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Πίνακας Β1. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Ενιππέας.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,87	0,55	0,33	0,42	0,39	0,68	0,42	0,38	0,16	0,23	0,52	0,72
SPI 3-month	0,97	0,95	0,96	0,85	0,81	0,85	0,80	0,82	0,84	0,79	0,79	0,92
SPI 6-month	0,76	0,90	0,86	0,84	0,86	0,81	0,80	0,84	0,83	0,79	0,78	0,69
SPI 9-month	0,58	0,74	0,78	0,76	0,82	0,79	0,71	0,67	0,63	0,59	0,58	0,45
SPI 12-month	0,54	0,64	0,72	0,58	0,64	0,66	0,67	0,69	0,62	0,48	0,41	0,27
SPI 24-month	0,39	0,50	0,57	0,52	0,52	0,48	0,40	0,31	0,35	0,34	0,22	0,01
WPLM	0,76	0,90	0,86	0,84	0,86	0,81	0,80	0,84	0,83	0,79	0,78	0,69

Πίνακας Β2. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Φαρσαλιώτης.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,89	0,49	0,42	0,48	0,49	0,51	0,39	0,39	0,05	0,04	0,47	0,70
SPI 3-month	0,96	0,96	0,95	0,82	0,81	0,81	0,73	0,78	0,84	0,80	0,76	0,92
SPI 6-month	0,79	0,92	0,90	0,90	0,89	0,79	0,72	0,77	0,77	0,75	0,84	0,63
SPI 9-month	0,68	0,80	0,81	0,85	0,87	0,79	0,70	0,65	0,56	0,46	0,50	0,48
SPI 12-month	0,61	0,64	0,72	0,63	0,69	0,67	0,69	0,68	0,53	0,31	0,29	0,34
SPI 24-month	0,54	0,50	0,54	0,46	0,52	0,45	0,37	0,31	0,29	0,26	0,10	0,14
WPLM	0,71	0,84	0,89	0,86	0,87	0,85	0,80	0,80	0,87	0,84	0,81	0,59

Πίνακας Β3. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Καλέντζης.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,78	0,26	0,38	0,46	0,45	0,56	0,36	0,30	0,03	0,03	0,19	0,41
SPI 3-month	0,95	0,95	0,94	0,79	0,85	0,82	0,78	0,74	0,66	0,61	0,41	0,65
SPI 6-month	0,87	0,92	0,91	0,96	0,94	0,91	0,80	0,83	0,81	0,77	0,72	0,82
SPI 9-month	0,78	0,78	0,85	0,92	0,93	0,93	0,86	0,74	0,73	0,69	0,69	0,74
SPI 12-month	0,74	0,72	0,79	0,80	0,83	0,89	0,85	0,75	0,70	0,65	0,64	0,64
SPI 24-month	0,66	0,65	0,69	0,71	0,73	0,73	0,61	0,51	0,54	0,53	0,46	0,43
WPLM	0,79	0,81	0,86	0,88	0,88	0,91	0,88	0,76	0,78	0,88	0,87	0,91

Πίνακας Β7. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Νεοχώρι.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,75	0,64	0,36	0,32	0,62	0,72	0,40	0,20	0,22	0,36	0,56	0,40
SPI 3-month	0,96	0,96	0,95	0,89	0,83	0,87	0,86	0,79	0,76	0,73	0,85	0,90
SPI 6-month	0,75	0,87	0,86	0,94	0,93	0,91	0,82	0,82	0,76	0,81	0,85	0,79
SPI 9-month	0,70	0,74	0,76	0,85	0,89	0,90	0,84	0,75	0,70	0,65	0,69	0,64
SPI 12-month	0,67	0,66	0,70	0,66	0,75	0,81	0,83	0,75	0,64	0,65	0,64	0,56
SPI 24-month	0,58	0,57	0,53	0,49	0,52	0,56	0,53	0,45	0,43	0,48	0,44	0,32
WPLM	0,74	0,78	0,82	0,81	0,82	0,86	0,85	0,82	0,87	0,91	0,84	0,73

Πίνακας Β8. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πάμισος.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,79	0,46	0,36	0,59	0,90	0,79	0,71	0,33	0,36	0,02	0,19	0,40
SPI 3-month	0,94	0,94	0,89	0,77	0,85	0,83	0,80	0,84	0,73	0,88	0,68	0,62
SPI 6-month	0,91	0,96	0,87	0,93	0,86	0,74	0,61	0,62	0,57	0,51	0,62	0,76
SPI 9-month	0,70	0,83	0,81	0,93	0,86	0,72	0,54	0,48	0,51	0,39	0,33	0,43
SPI 12-month	0,59	0,63	0,65	0,74	0,74	0,66	0,52	0,50	0,47	0,40	0,37	0,38
SPI 24-month	0,57	0,56	0,54	0,55	0,50	0,48	0,27	0,27	0,44	0,44	0,39	0,34
WPLM	0,79	0,83	0,85	0,90	0,84	0,80	0,75	0,65	0,77	0,82	0,83	0,88

Πίνακας Β9. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πηνειός.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,60	0,50	0,29	0,54	0,59	0,72	0,47	0,30	0,28	0,31	0,34	0,52
SPI 3-month	0,87	0,94	0,86	0,77	0,73	0,84	0,84	0,77	0,85	0,84	0,80	0,83
SPI 6-month	0,83	0,94	0,90	0,93	0,84	0,77	0,71	0,72	0,73	0,72	0,82	0,90
SPI 9-month	0,71	0,83	0,83	0,87	0,84	0,75	0,64	0,56	0,51	0,46	0,53	0,69
SPI 12-month	0,64	0,71	0,80	0,73	0,68	0,63	0,65	0,60	0,52	0,43	0,42	0,43
SPI 24-month	0,31	0,56	0,65	0,66	0,57	0,55	0,44	0,29	0,32	0,31	0,20	0,07
WPLM	0,67	0,78	0,88	0,89	0,80	0,78	0,72	0,65	0,78	0,82	0,82	0,82

Πίνακας Β10. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πλιούρης.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,85	0,60	0,59	0,51	0,64	0,58	0,46	0,45	0,10	-0,04	0,55	0,56
SPI 3-month	0,98	0,97	0,98	0,91	0,89	0,85	0,86	0,82	0,67	0,45	0,49	0,68
SPI 6-month	0,85	0,94	0,93	0,95	0,97	0,97	0,95	0,95	0,93	0,89	0,88	0,77
SPI 9-month	0,75	0,80	0,86	0,90	0,94	0,95	0,95	0,95	0,96	0,93	0,92	0,78
SPI 12-month	0,68	0,67	0,73	0,77	0,87	0,92	0,95	0,96	0,96	0,94	0,92	0,79
SPI 24-month	0,62	0,62	0,60	0,60	0,67	0,70	0,69	0,68	0,70	0,70	0,65	0,52
WPLM	0,72	0,70	0,72	0,74	0,80	0,84	0,87	0,89	0,90	0,91	0,87	0,77

Πίνακας Β11. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πορταϊκός.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,74	0,61	0,71	0,85	0,94	0,86	0,80	0,60	0,31	0,24	0,22	0,54
SPI 3-month	0,85	0,93	0,93	0,82	0,79	0,80	0,78	0,80	0,61	0,88	0,80	0,84
SPI 6-month	0,83	0,90	0,94	0,79	0,72	0,68	0,50	0,53	0,37	0,37	0,51	0,66
SPI 9-month	0,67	0,79	0,77	0,78	0,73	0,66	0,41	0,35	0,34	0,21	0,23	0,41
SPI 12-month	0,59	0,65	0,63	0,52	0,57	0,62	0,40	0,39	0,30	0,21	0,27	0,42
SPI 24-month	0,51	0,64	0,58	0,38	0,36	0,50	0,22	0,20	0,28	0,28	0,27	0,28
WPLM	0,70	0,86	0,89	0,86	0,80	0,77	0,69	0,72	0,69	0,75	0,79	0,85

Πίνακας Β12. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Σοφαδίτης.

	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,93	0,50	0,34	0,49	0,43	0,54	0,46	0,32	0,14	-0,17	0,48	0,46
SPI 3-month	0,88	0,94	0,95	0,92	0,91	0,93	0,91	0,89	0,78	0,42	0,27	0,36
SPI 6-month	0,71	0,91	0,85	0,91	0,91	0,90	0,87	0,89	0,88	0,58	0,26	0,12
SPI 9-month	0,61	0,76	0,76	0,84	0,90	0,90	0,86	0,78	0,73	0,30	0,25	0,01
SPI 12-month	0,55	0,63	0,62	0,59	0,71	0,83	0,84	0,82	0,73	0,27	0,17	0,02
SPI 24-month	0,51	0,52	0,52	0,44	0,49	0,54	0,52	0,48	0,45	0,33	0,07	-0,11
WPLM	0,65	0,75	0,76	0,72	0,71	0,79	0,87	0,86	0,84	0,53	0,29	0,17

Πίνακας Β13. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Θεόπετρα.

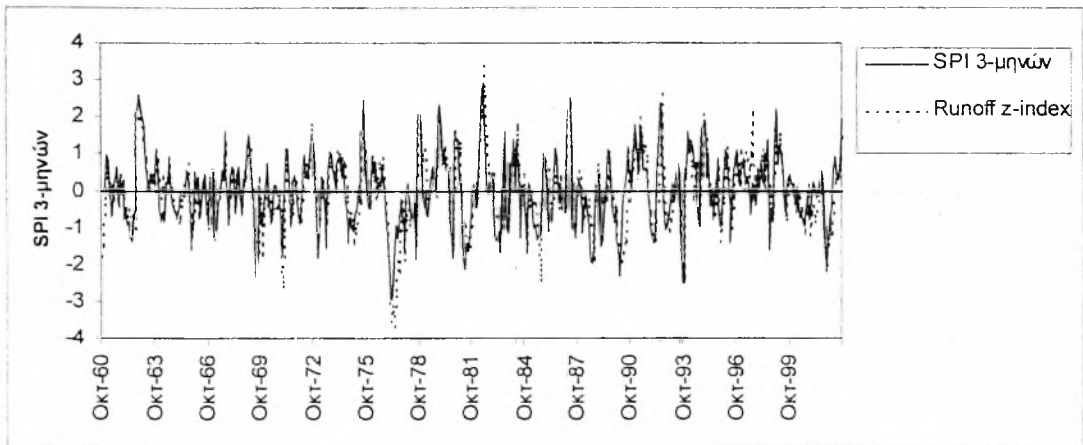
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,80	0,64	0,58	0,40	0,66	0,69	0,37	0,40	0,10	0,18	0,56	0,53
SPI 3-month	0,98	0,95	0,97	0,89	0,87	0,88	0,89	0,84	0,79	0,70	0,79	0,89
SPI 6-month	0,84	0,90	0,89	0,92	0,93	0,90	0,85	0,85	0,80	0,81	0,80	0,74
SPI 9-month	0,73	0,76	0,83	0,87	0,90	0,90	0,83	0,77	0,69	0,64	0,66	0,59
SPI 12-month	0,64	0,63	0,69	0,73	0,81	0,84	0,85	0,77	0,66	0,62	0,56	0,53
SPI 24-month	0,56	0,57	0,52	0,56	0,57	0,61	0,59	0,54	0,52	0,52	0,37	0,31
WPLM	0,73	0,80	0,81	0,83	0,86	0,90	0,87	0,85	0,86	0,90	0,78	0,68

Πίνακας Β14. Μηνιαία συσχέτιση μετεωρολογικών δεικτών ξηρασίας με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Τιταρήσιος.

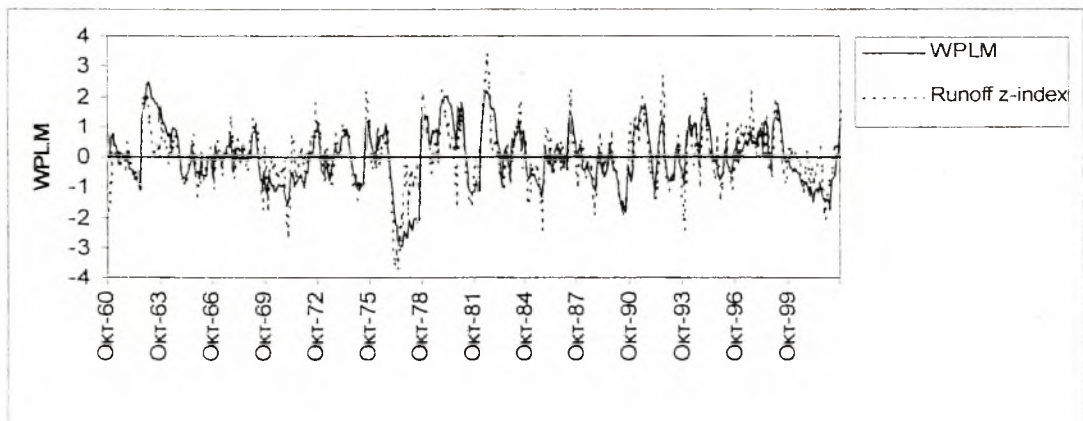
	ΟΚΤ	ΝΟΕ	ΔΕΚ	ΙΑΝ	ΦΕΒ	ΜΑΡ	ΑΠΡ	ΜΑΪ	ΙΟΥΝ	ΙΟΥΛ	ΑΥΓ	ΣΕΠ
SPI 1-month	0,54	0,45	0,27	0,48	0,70	0,82	0,46	0,29	0,29	0,47	0,35	0,44
SPI 3-month	0,68	0,82	0,83	0,69	0,76	0,87	0,86	0,69	0,77	0,80	0,84	0,84
SPI 6-month	0,73	0,88	0,87	0,90	0,85	0,80	0,70	0,68	0,65	0,75	0,85	0,90
SPI 9-month	0,69	0,79	0,79	0,87	0,83	0,82	0,73	0,67	0,60	0,57	0,64	0,71
SPI 12-month	0,58	0,65	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,66	0,58	0,51	0,54	0,57
SPI 24-month	0,48	0,50	0,48	0,60	0,62	0,60	0,50	0,51	0,43	0,43	0,37	0,39
WPLM	0,72	0,80	0,84	0,84	0,81	0,85	0,74	0,75	0,79	0,82	0,80	0,83

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

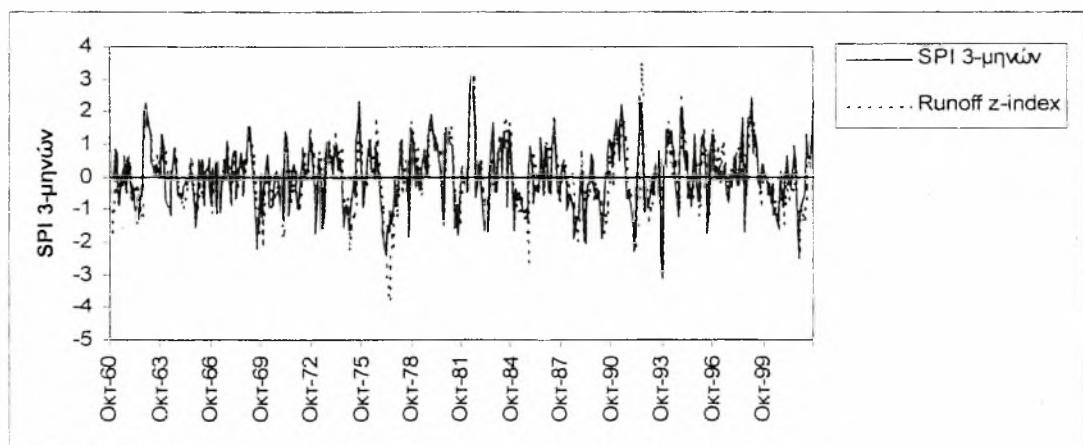
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ



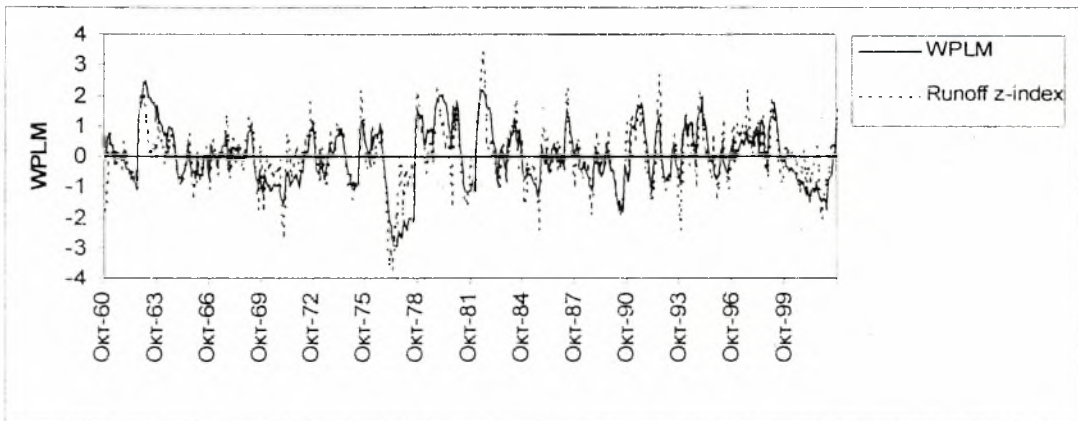
Σχήμα Γ1. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Ενιπέας



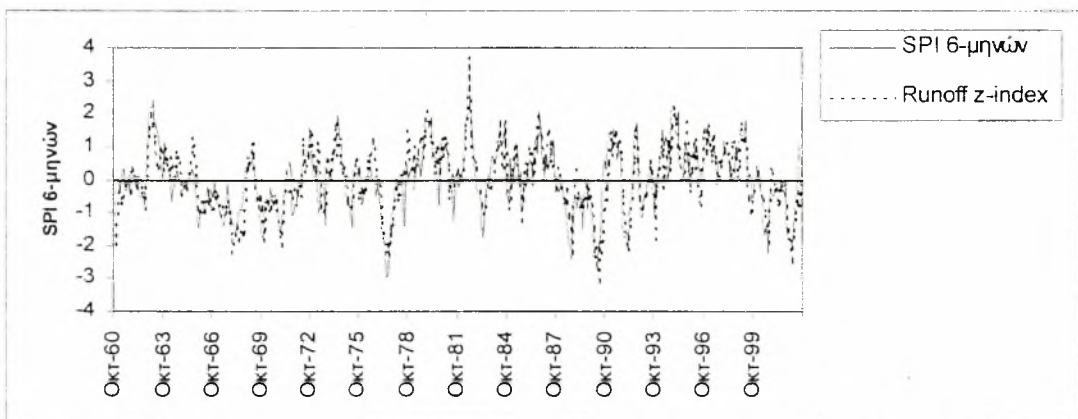
Σχήμα Γ2. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Ενιπέας



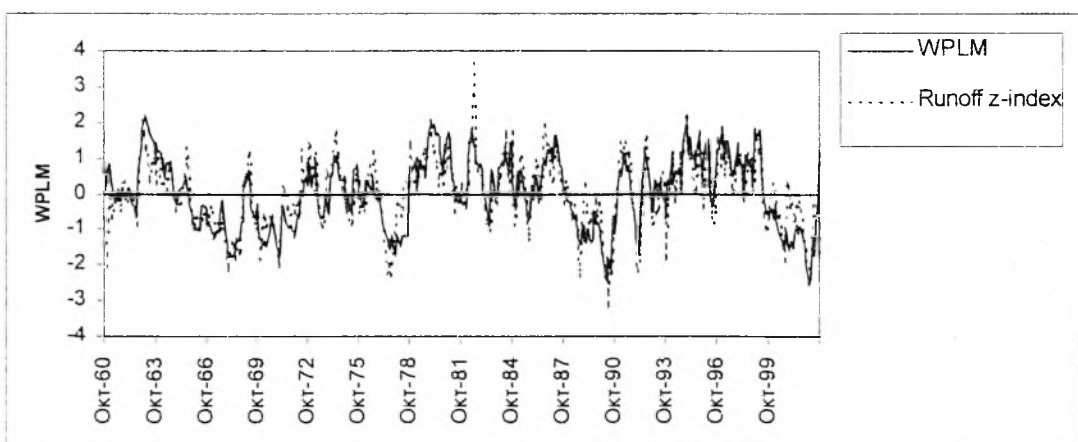
Σχήμα Γ3. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Φαρσαλιώτης



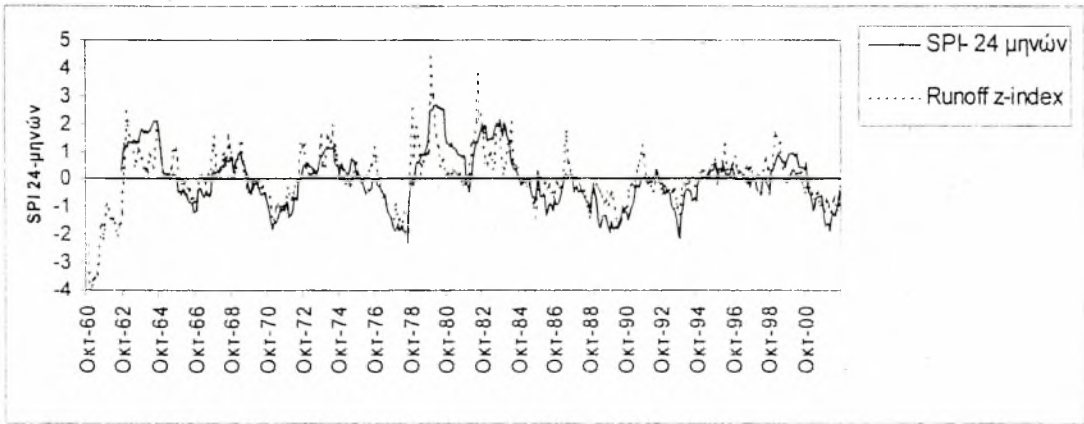
Σχήμα Γ4. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Φαρσαλιώτης



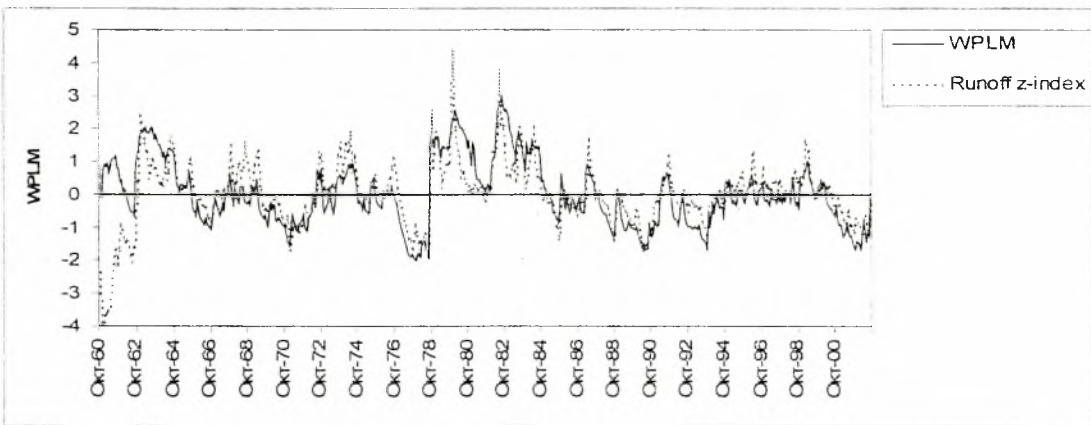
Σχήμα Γ5. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Καλέντζης



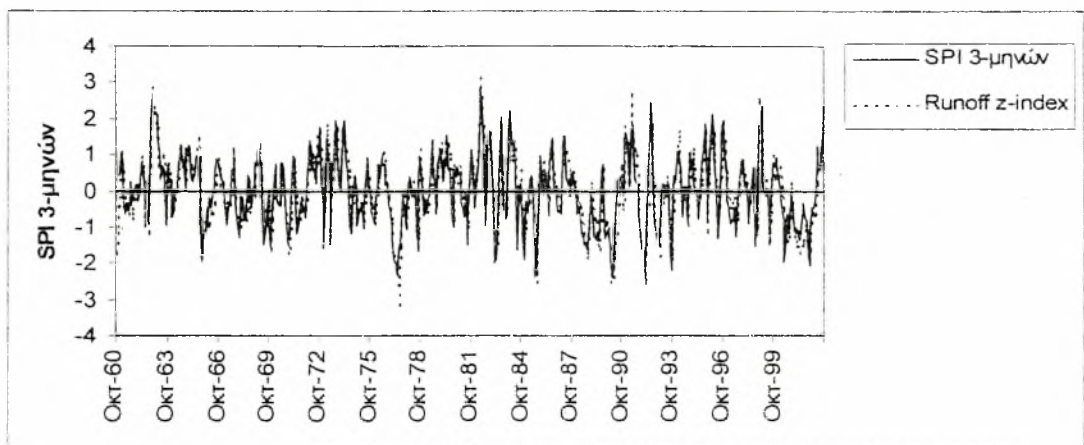
Σχήμα Γ6. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Καλέντζης



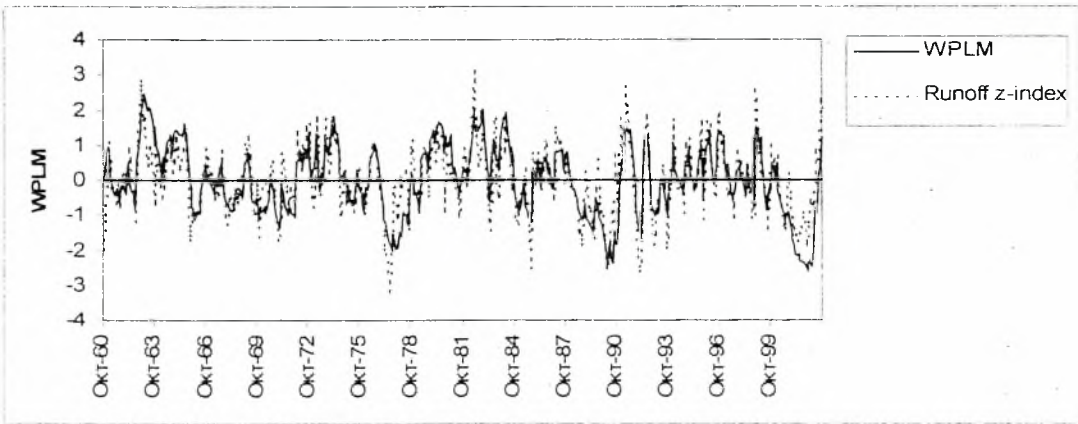
Σχήμα Γ7. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 24-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Κουσμπασανιώτης



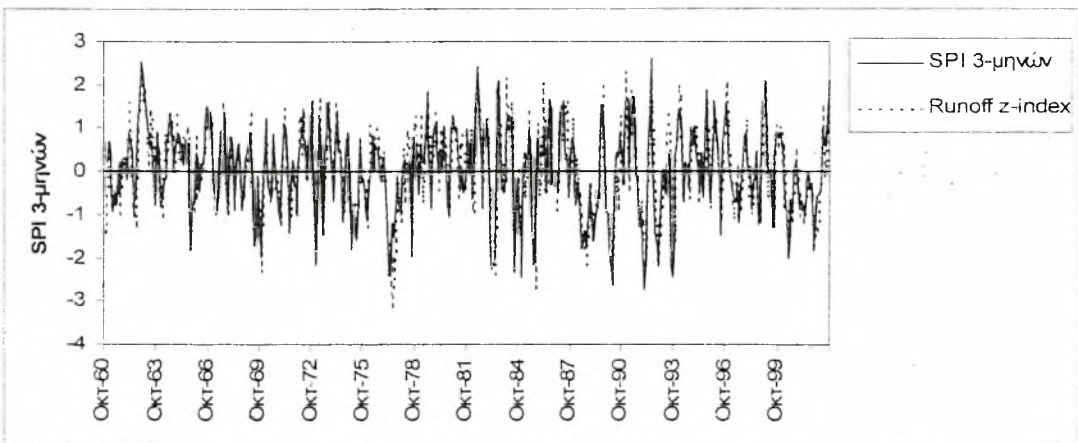
Σχήμα Γ8. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Κουσμπασανιώτης



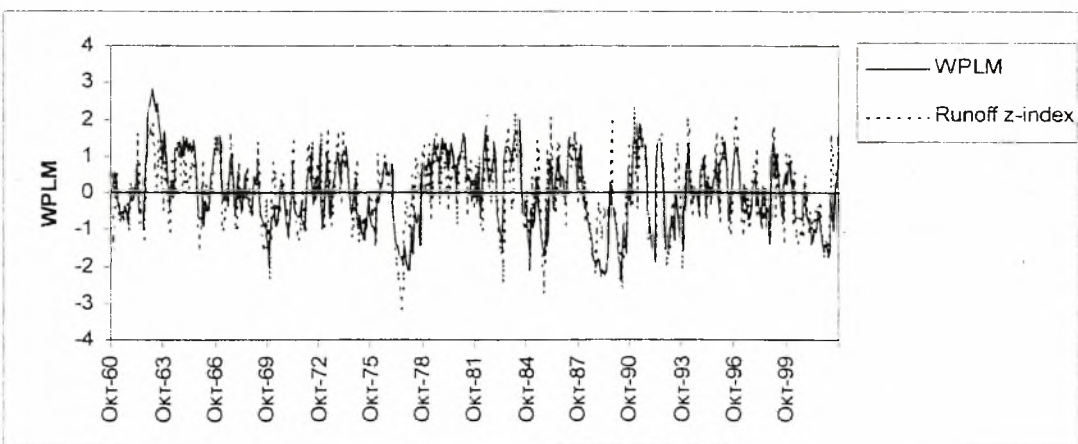
Σχήμα Γ9. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Ληθαίος.



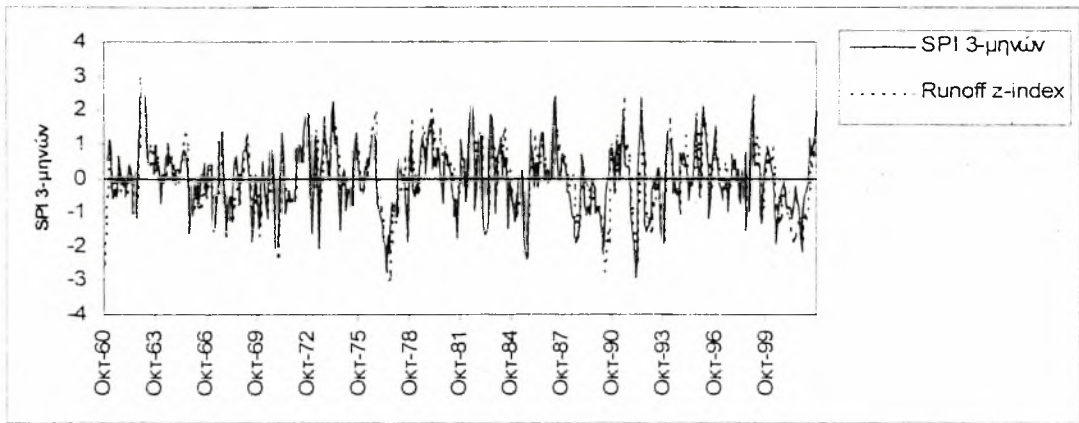
Σχήμα Γ10. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Ληθαΐος.



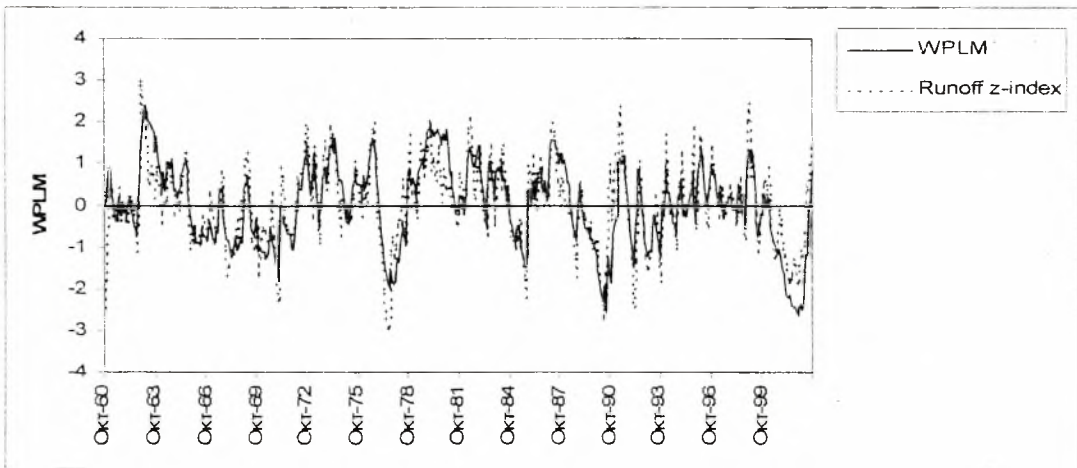
Σχήμα Γ11. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Μεσδάνι.



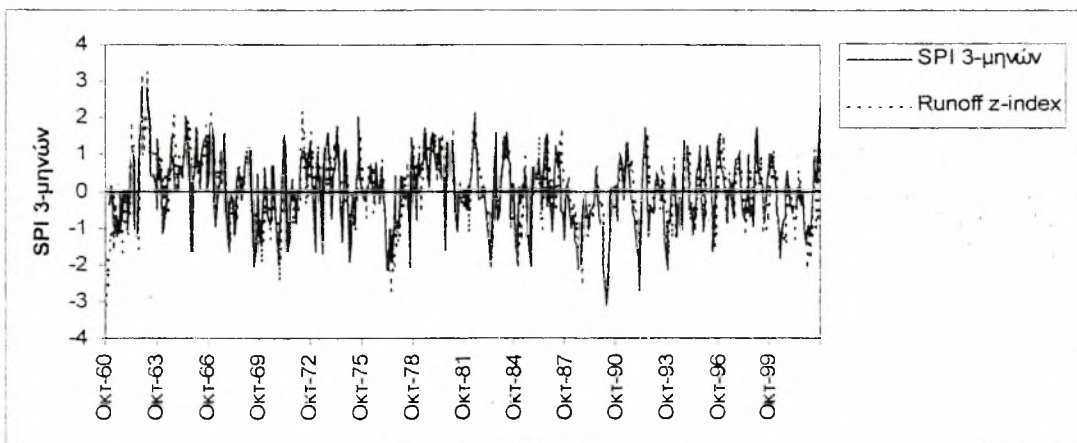
Σχήμα Γ12. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Μεσδάνι.



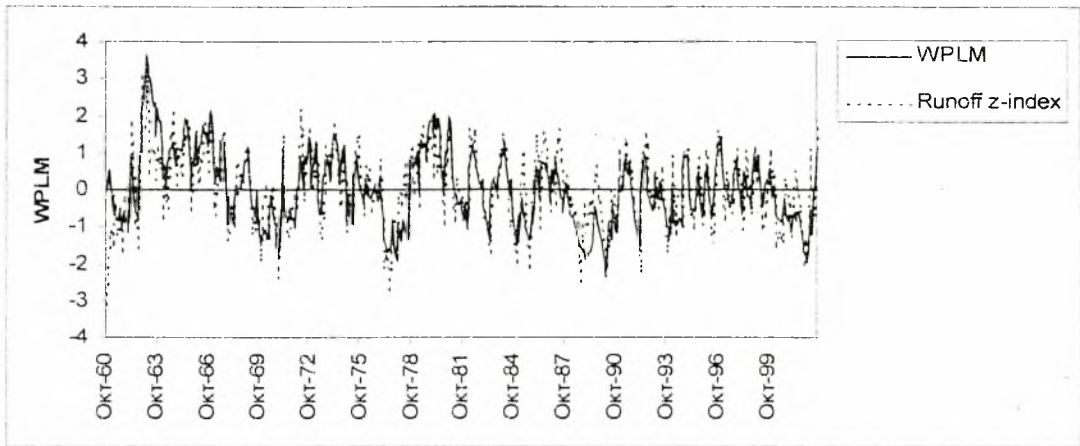
Σχήμα Γ13. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Νεοχώρι.



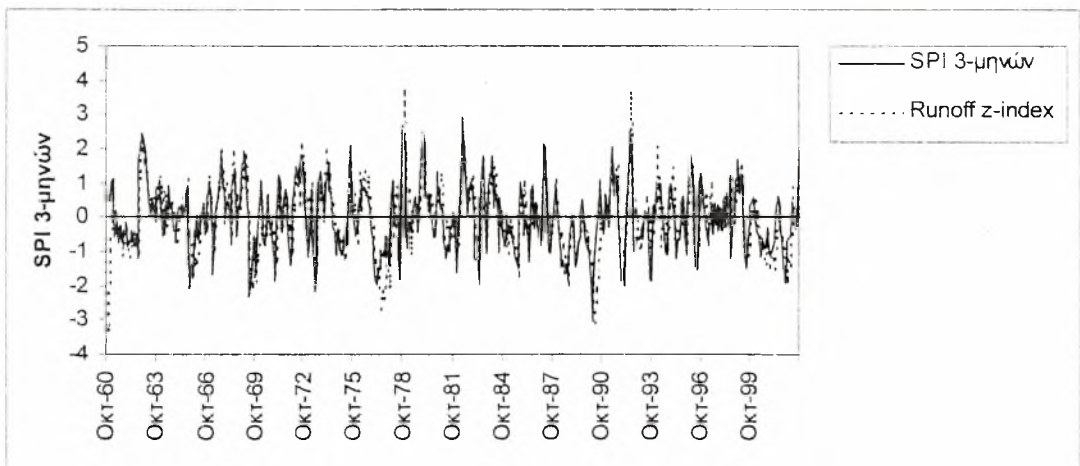
Σχήμα Γ14. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Νεοχώρι.



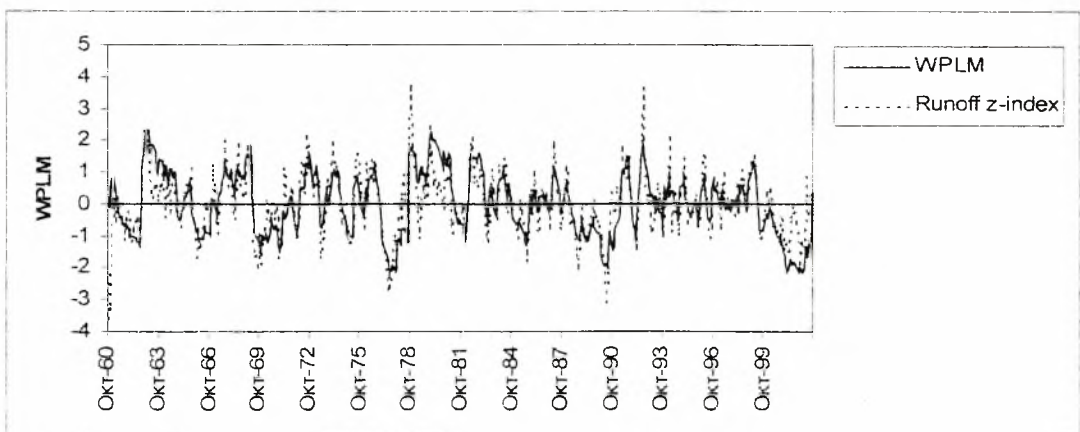
Σχήμα Γ15. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πάμισος.



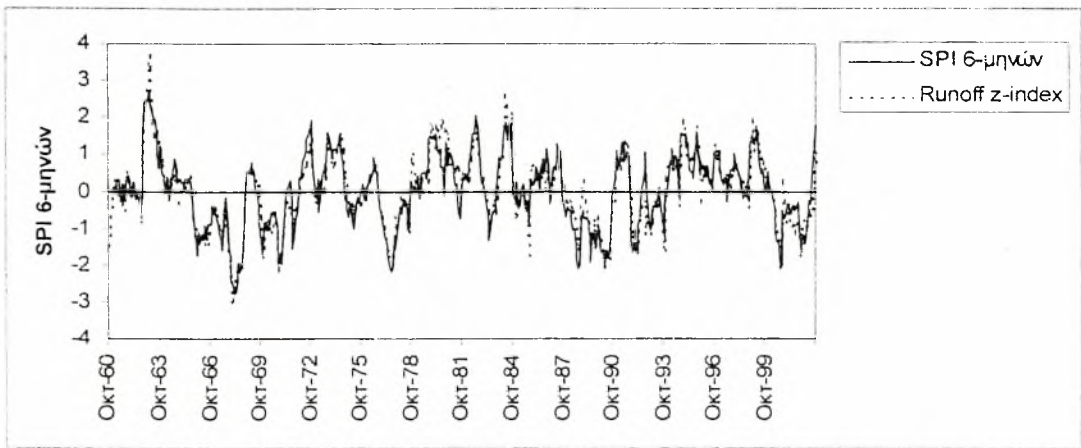
Σχήμα Γ16. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πάμισος



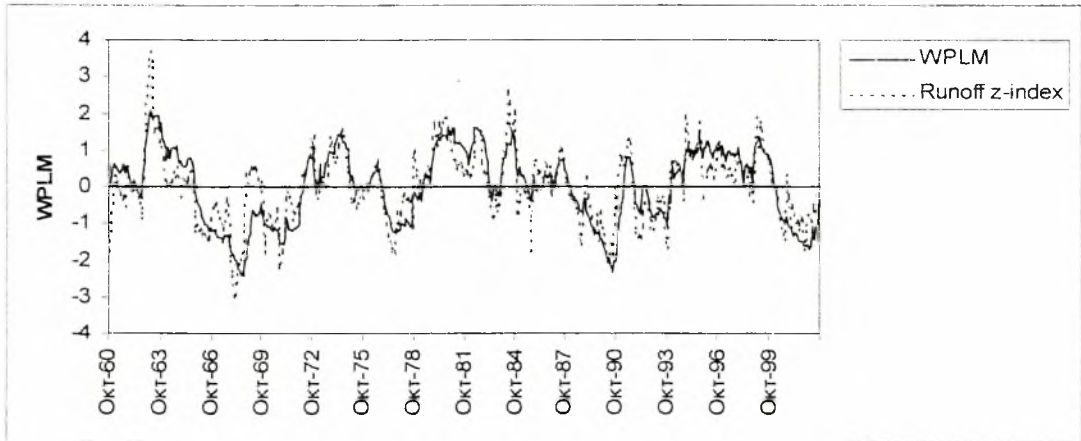
Σχήμα Γ17. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πηνειός



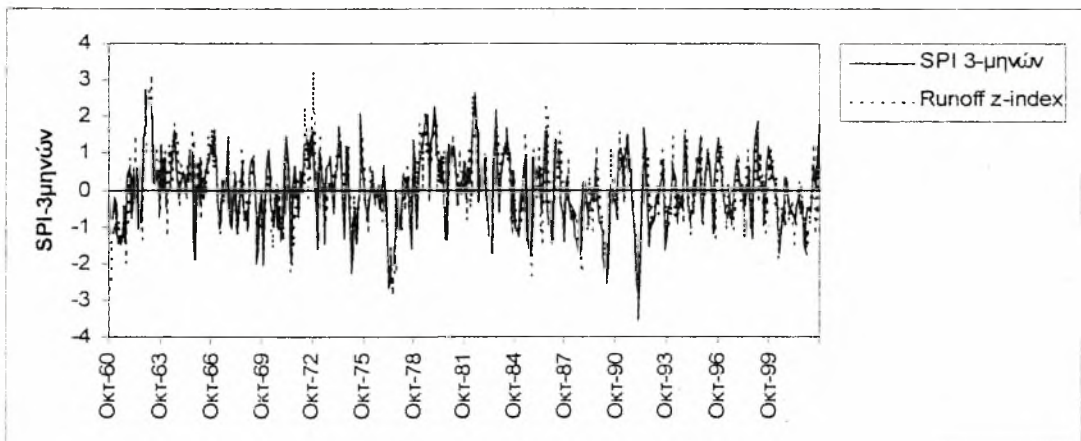
Σχήμα Γ18. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πηνειός.



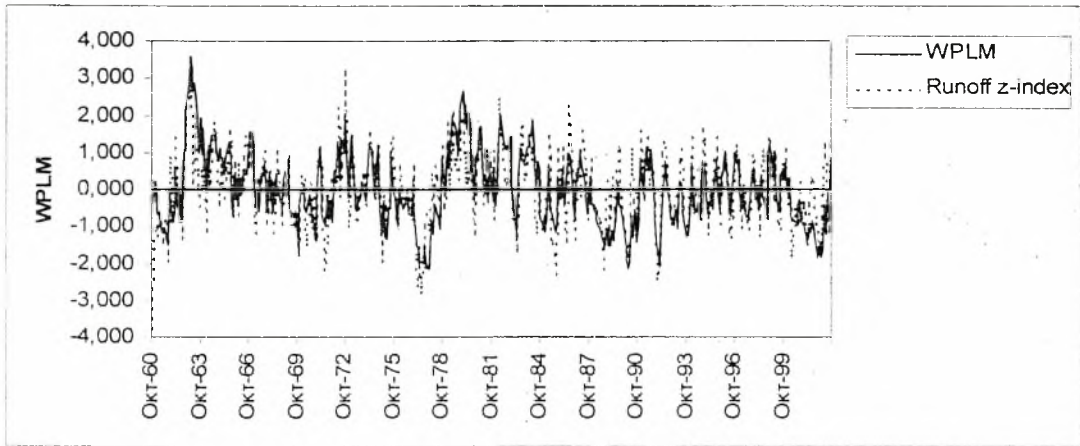
Σχήμα Γ19. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 6-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πλιούρης



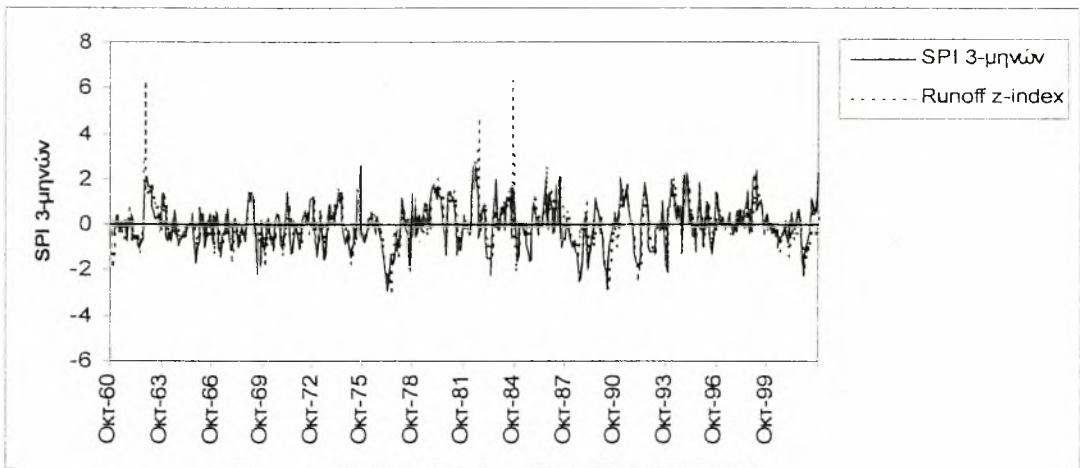
Σχήμα Γ20. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 6-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πλιούρης



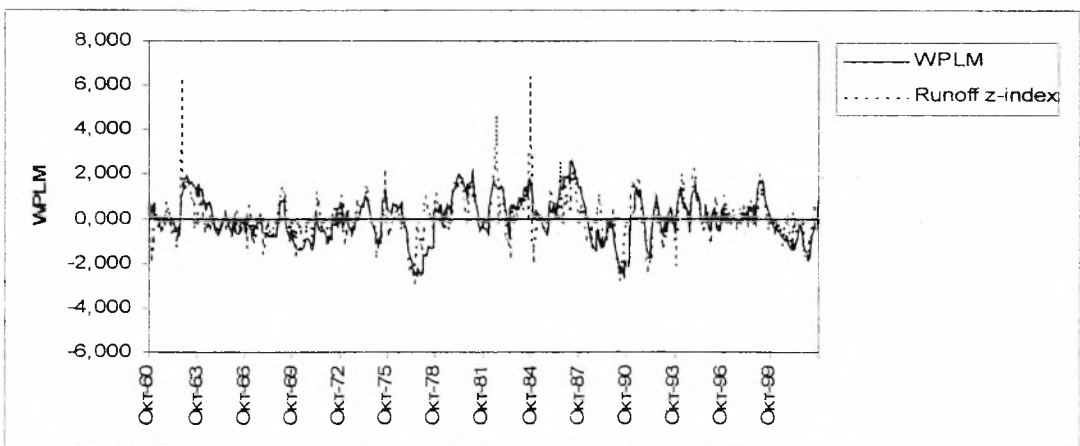
Σχήμα Γ21. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πορταϊκός



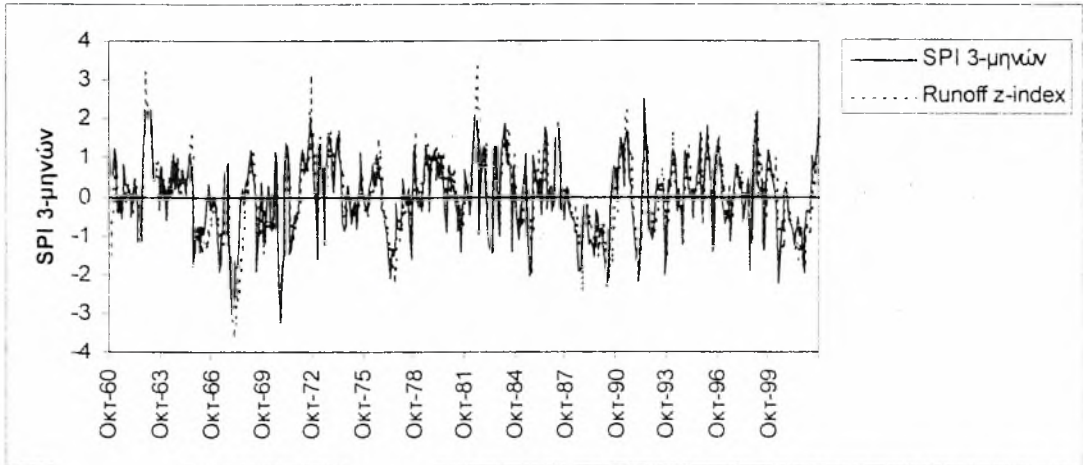
Σχήμα Γ22. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Πορταϊκός



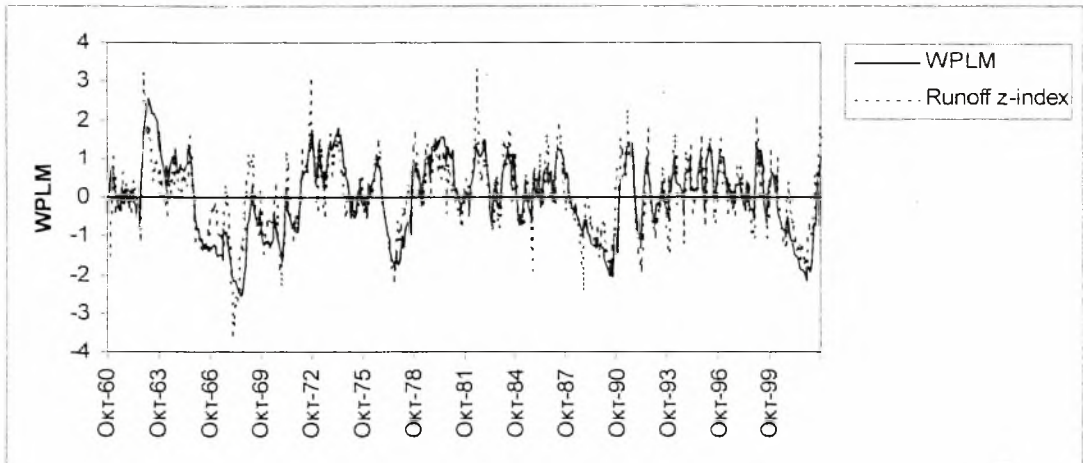
Σχήμα Γ23. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Σοφαδίτης



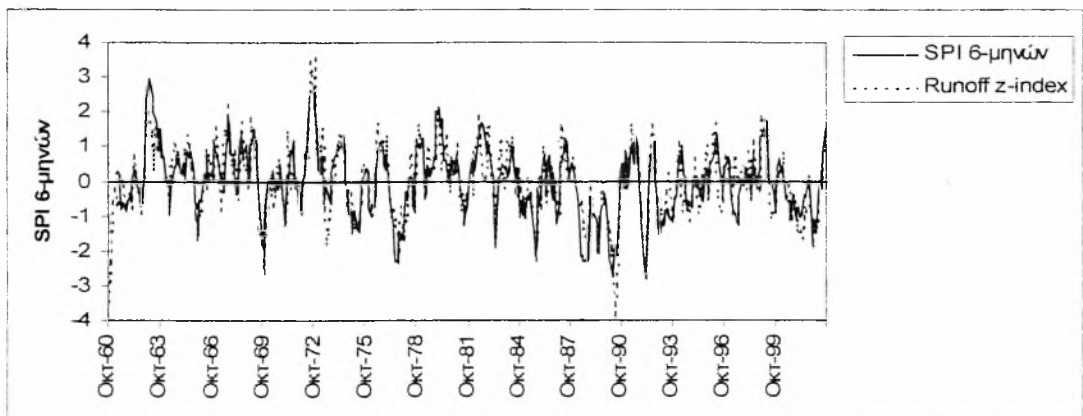
Σχήμα Γ24. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Σοφαδίτης



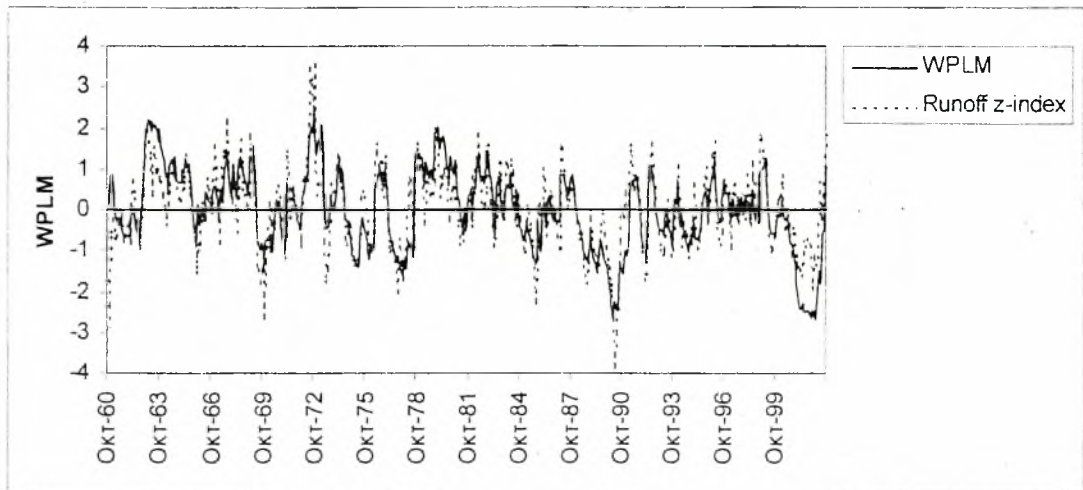
Σχήμα Γ25. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 3-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Θεόπετρα



Σχήμα Γ26. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Θεόπετρα



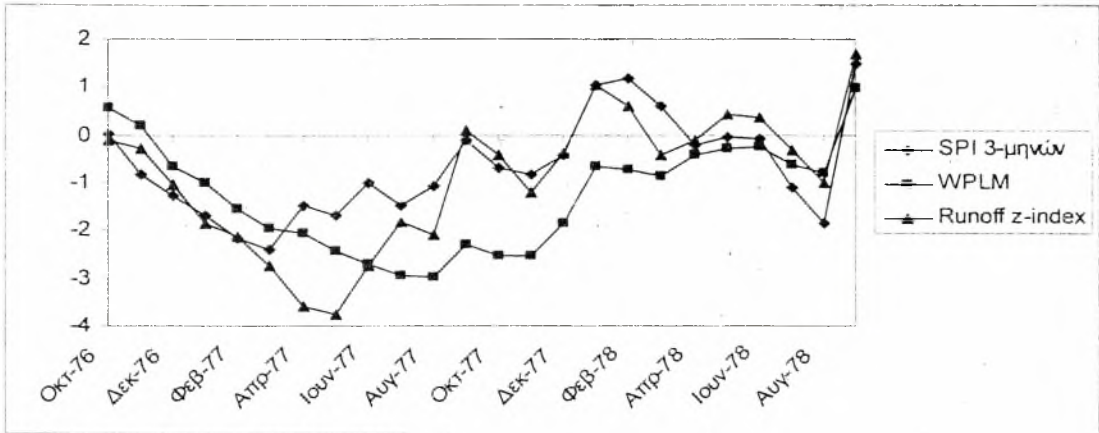
Σχήμα Γ27. Χρονική σύγκριση του δείκτη SPI 6-μήνων με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Τιταρήσιος



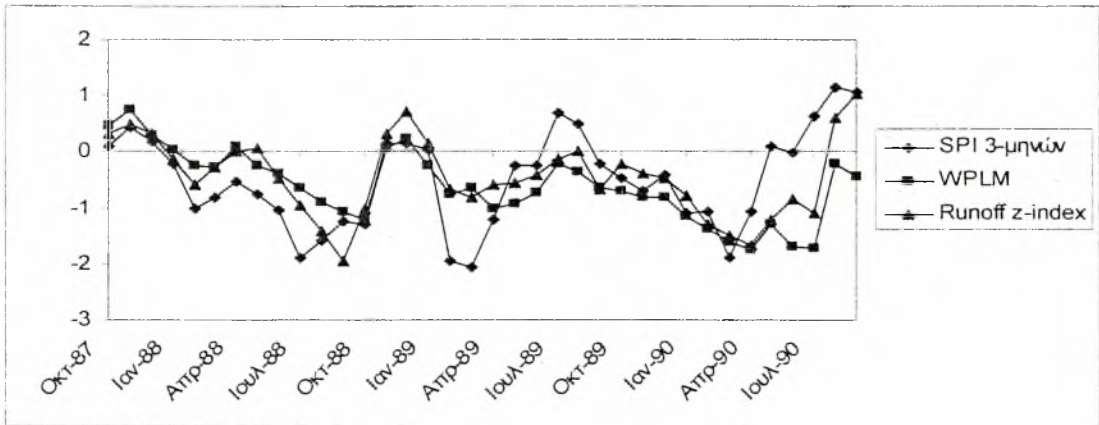
Σχήμα Γ28. Χρονική σύγκριση του δείκτη WPLM με τον υδρολογικό δείκτη Z_{ij} για την υπολεκάνη Τιταρήσιος

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

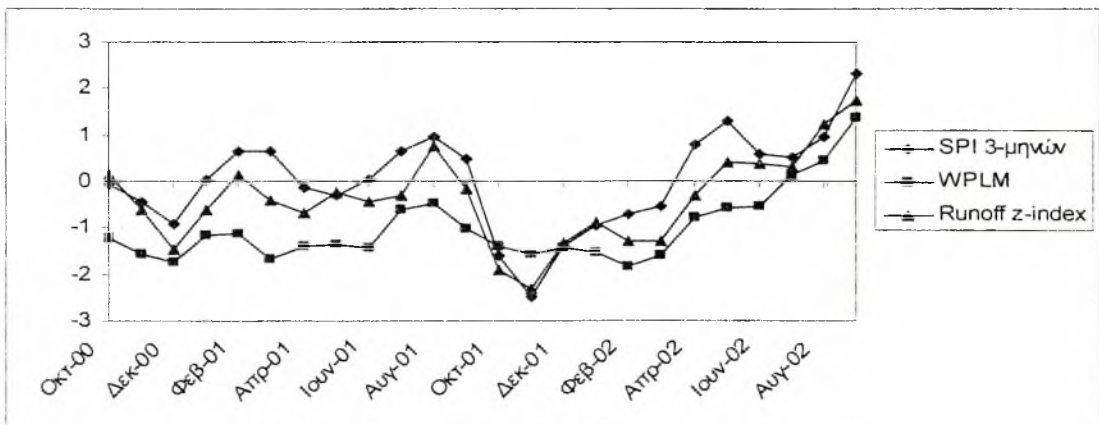
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ ΜΕ ΤΟΝ ΔΕΙΚΤΗ ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ ΓΙΑ 3 ΙΣΤΟΡΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ ΞΗΡΑΣΙΑΣ



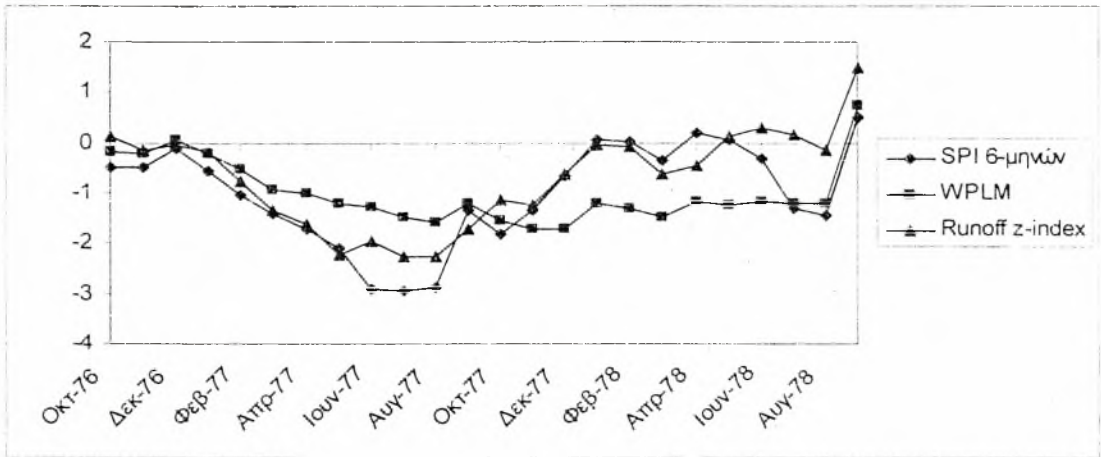
Σχήμα Δ4. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Φαρσαλιώτη (1^η Περίοδος).



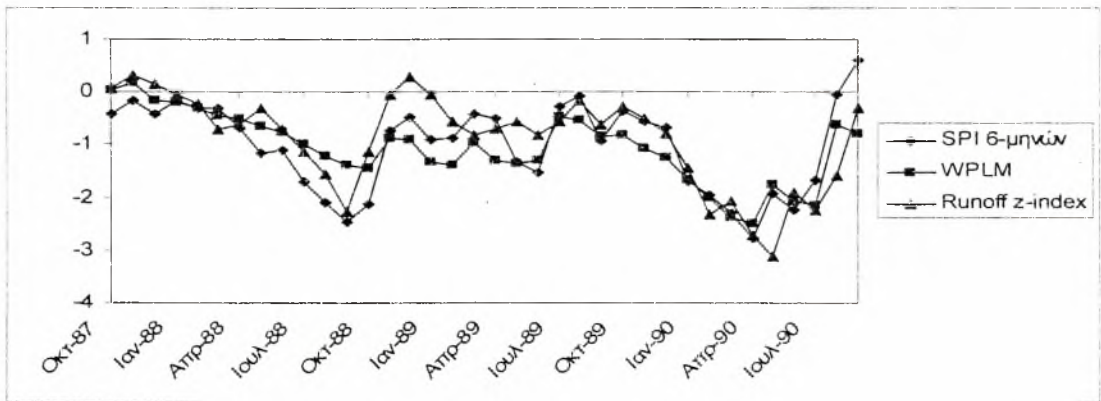
Σχήμα Δ5. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Φαρσαλιώτη (2^η Περίοδος).



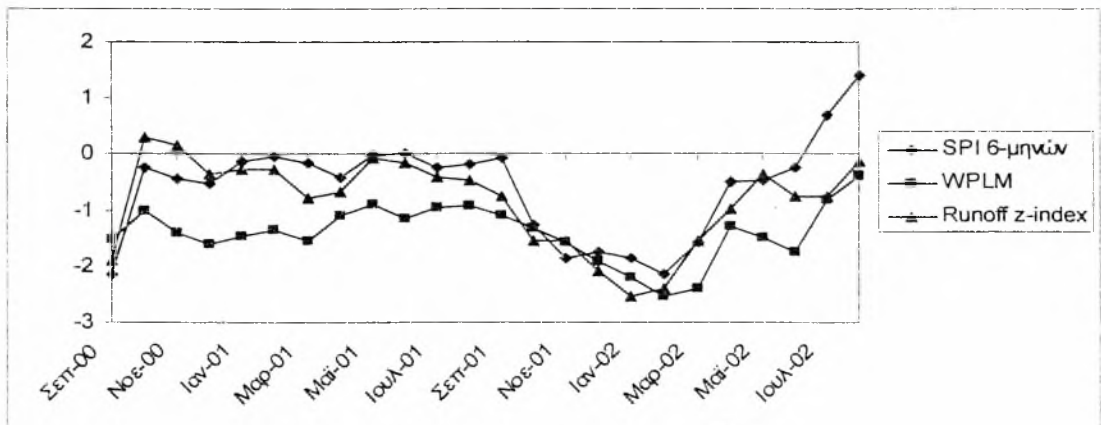
Σχήμα Δ6. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Φαρσαλιώτη (3^η Περίοδος).



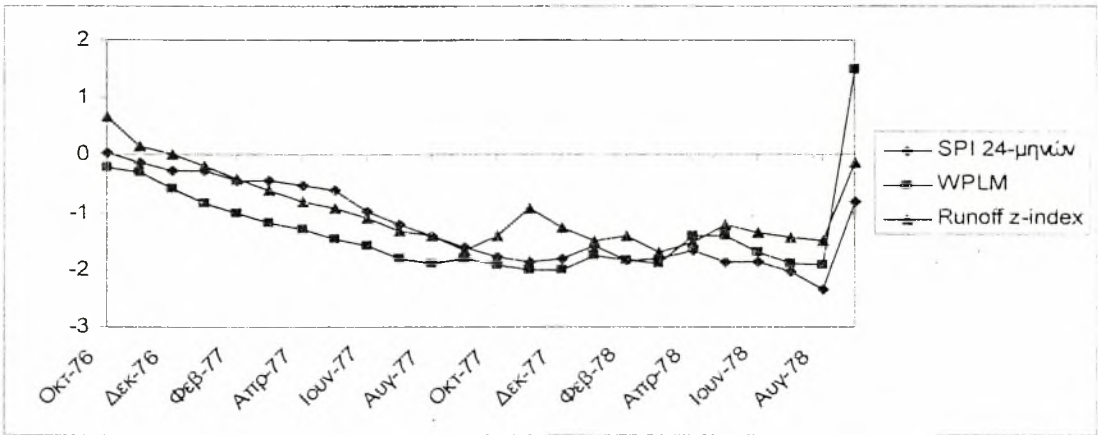
Σχήμα Δ7. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Καλέντζη. (1^η Περίοδος).



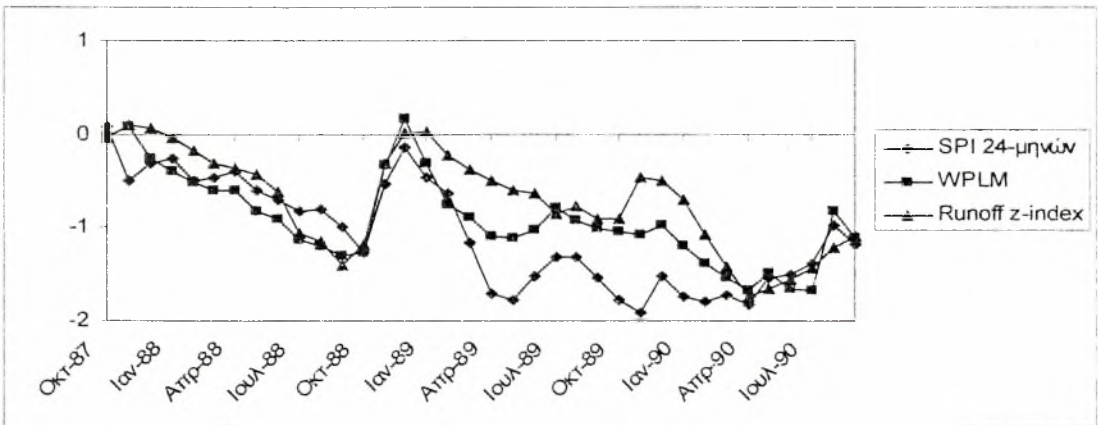
Σχήμα Δ8. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Καλέντζη. (2^η Περίοδος).



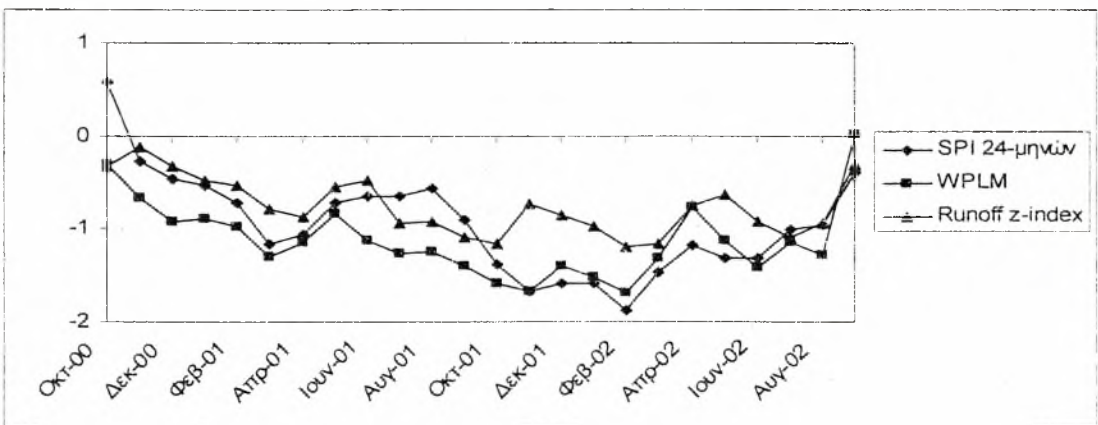
Σχήμα Δ9. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Καλέντζη. (3^η Περίοδος).



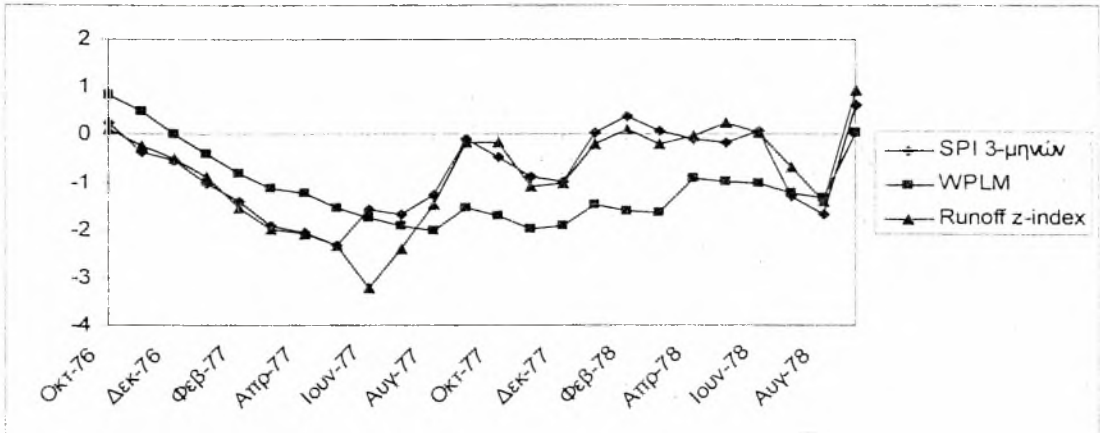
Σχήμα Δ10. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη. (1^η Περίοδος).



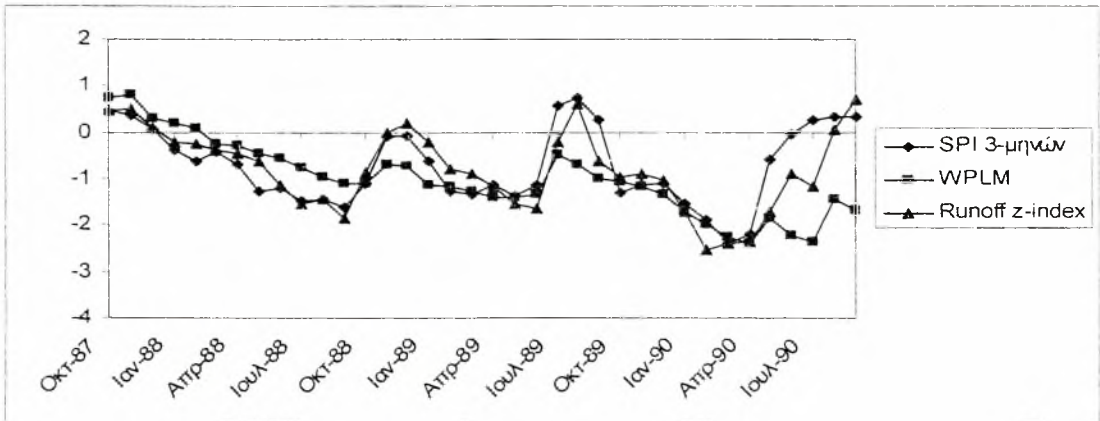
Σχήμα Δ11. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη. (2^η Περίοδος).



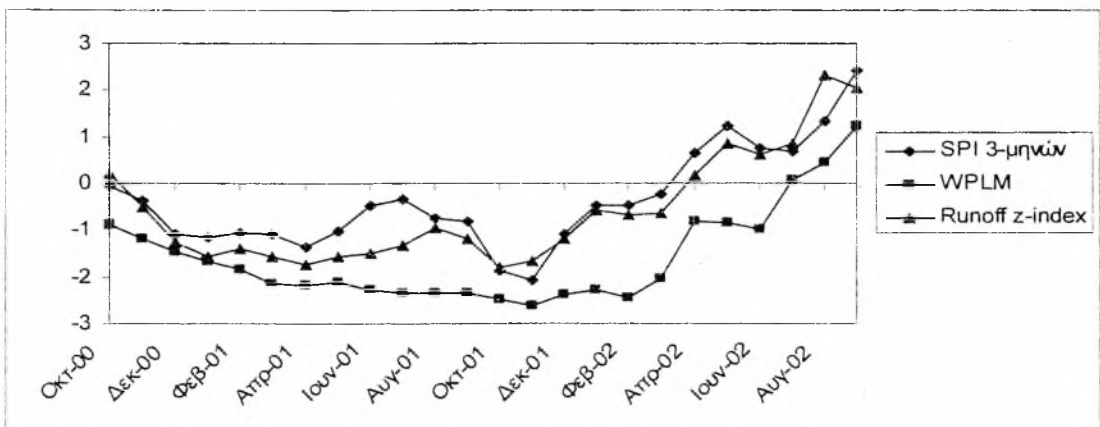
Σχήμα Δ12. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Κουσμπασανιώτη. (3^η Περίοδος).



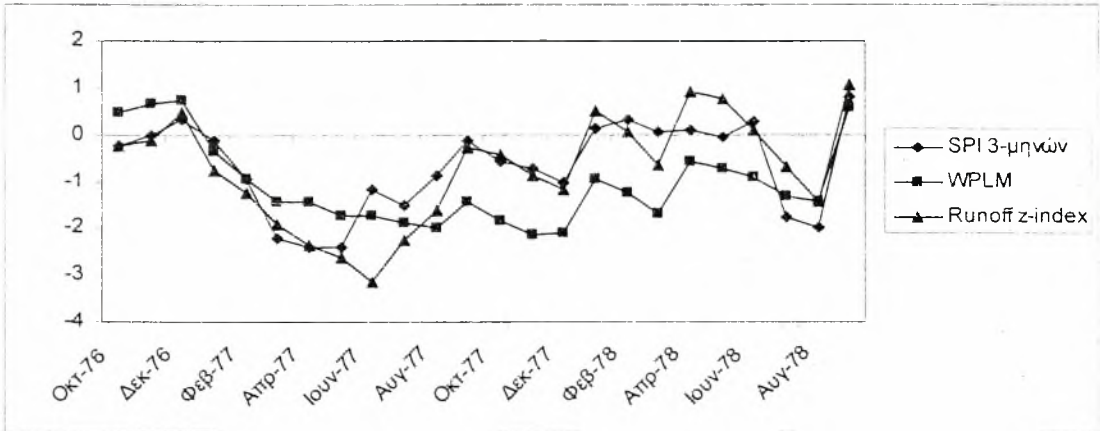
Σχήμα Δ13. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ληθαίου. (1^η Περίοδος).



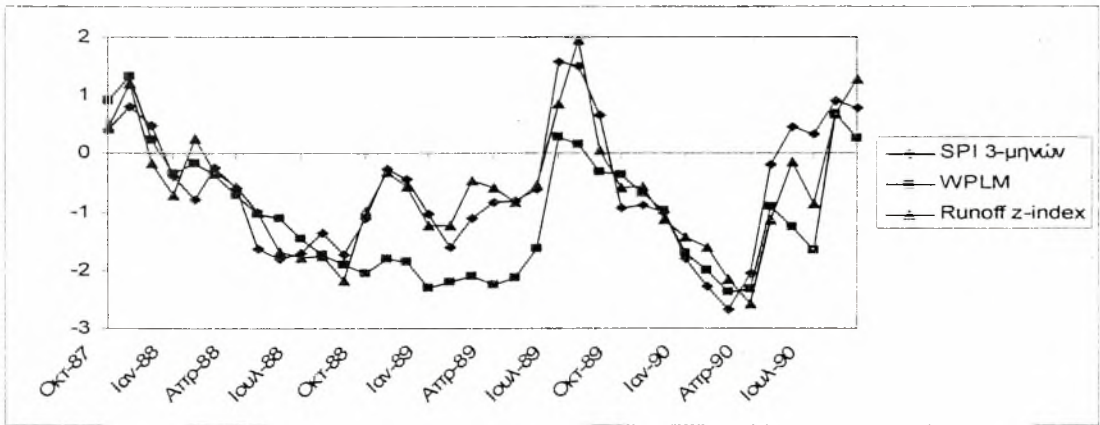
Σχήμα Δ14. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ληθαίου. (2^η Περίοδος).



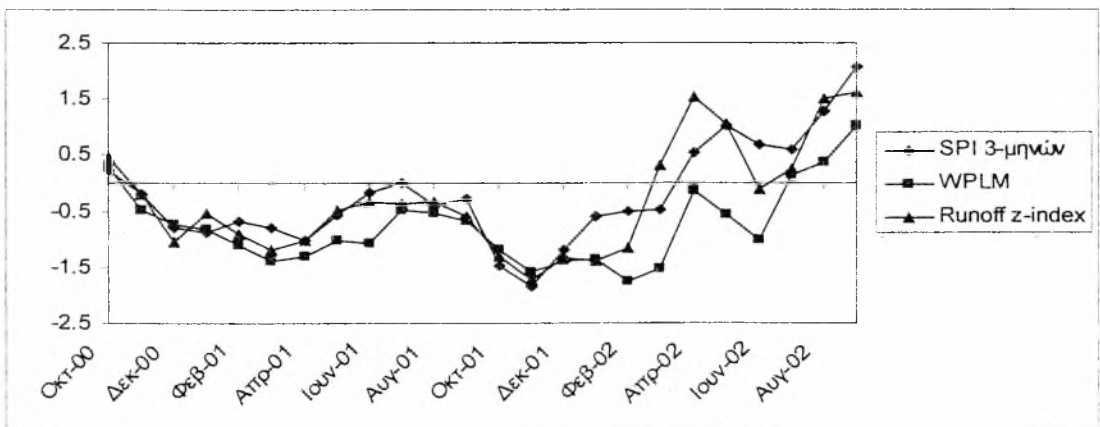
Σχήμα Δ15. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Ληθαίου. (3^η Περίοδος).



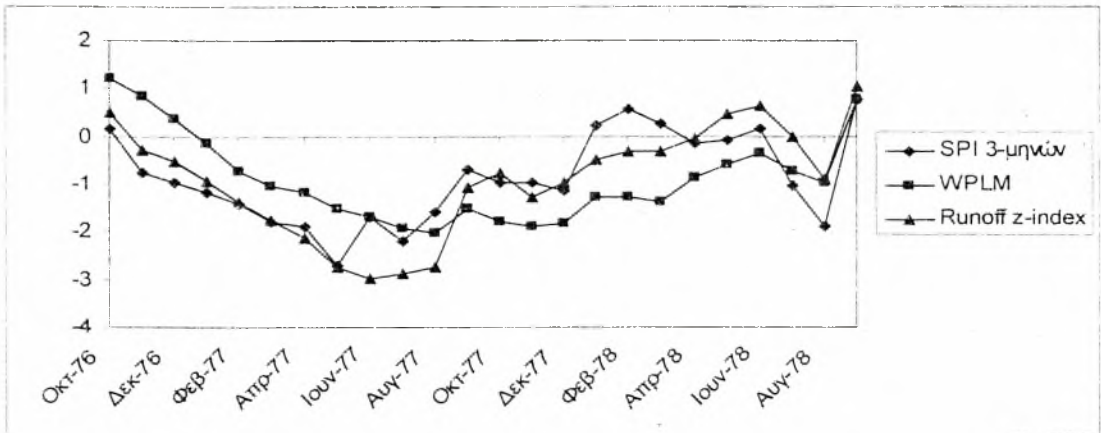
Σχήμα Δ16. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Μεσδάνι. (1^η Περίοδος).



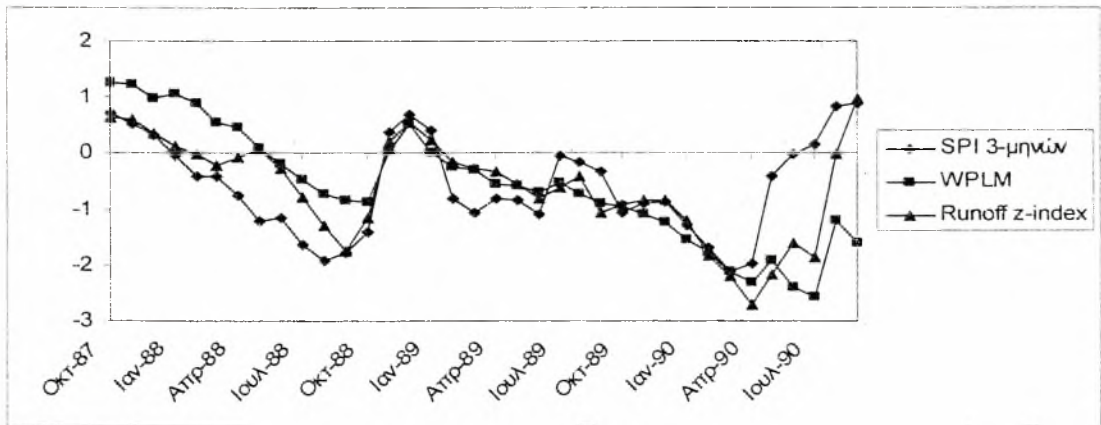
Σχήμα Δ17. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Μεσδάνι. (2^η Περίοδος).



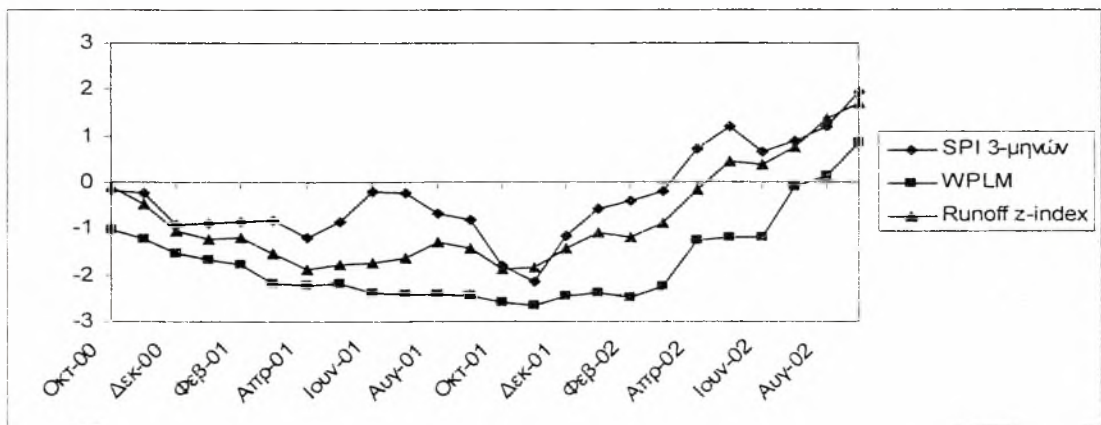
Σχήμα Δ18. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Μεσδάνι. (3^η Περίοδος).



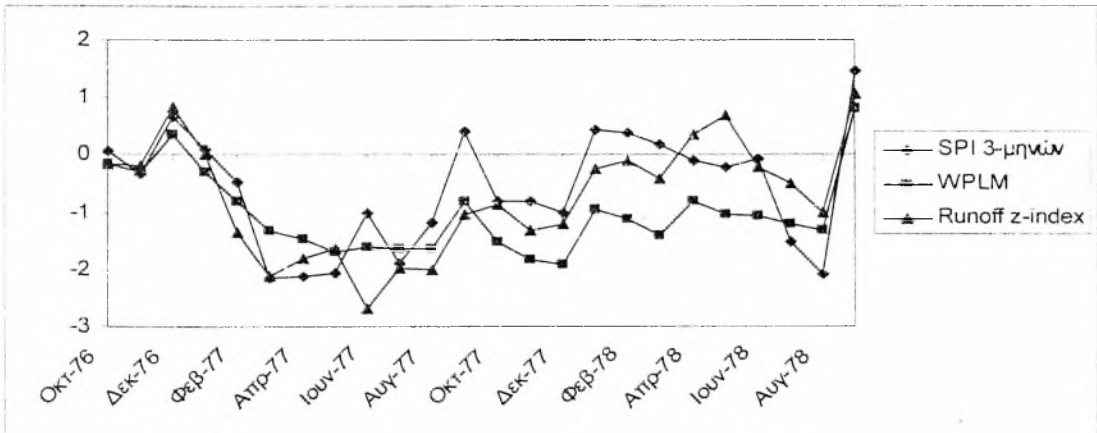
Σχήμα Δ19. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου. (1^η Περίοδος).



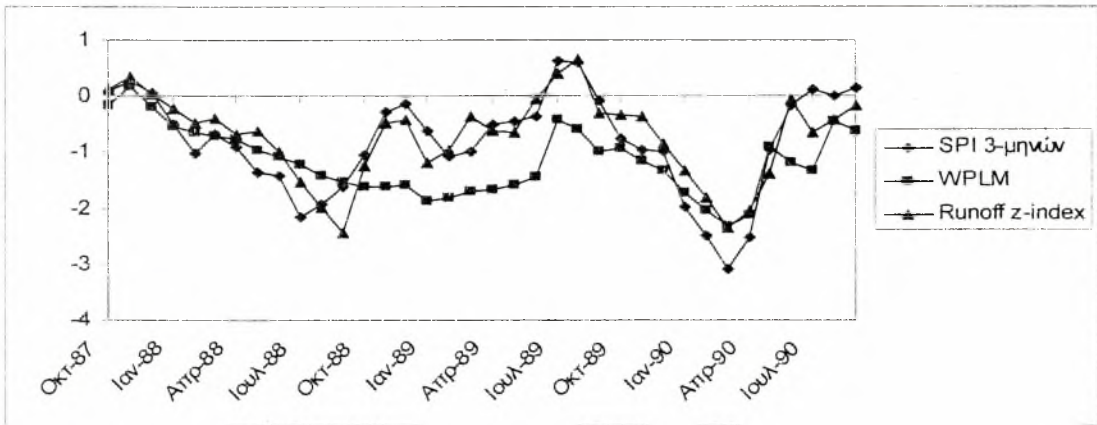
Σχήμα Δ20. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου. (2^η Περίοδος).



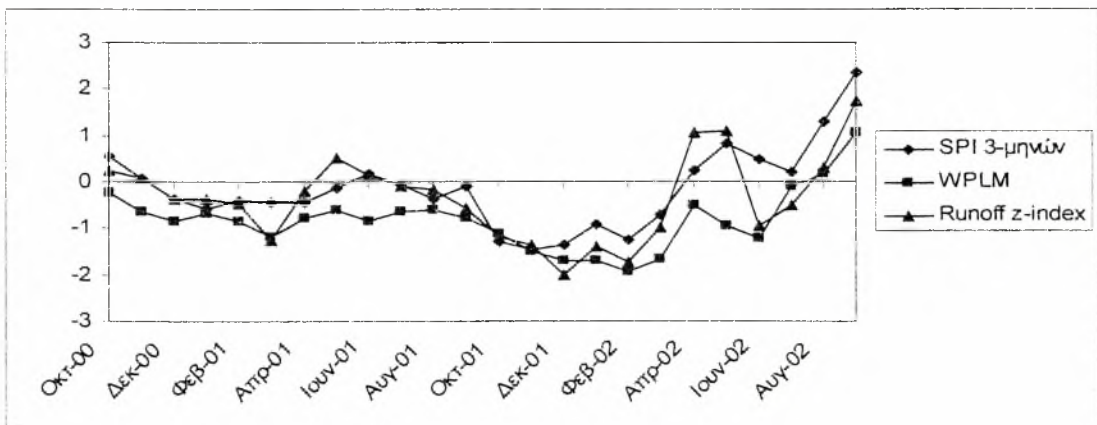
Σχήμα Δ21. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Νεοχωρίου. (3^η Περίοδος)



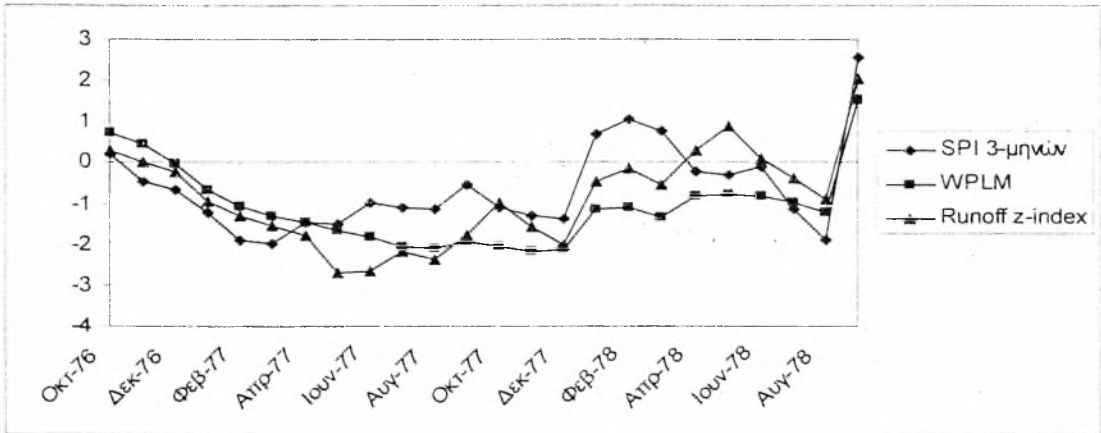
Σχήμα Δ22. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πάμισου. (1^η Περίοδος).



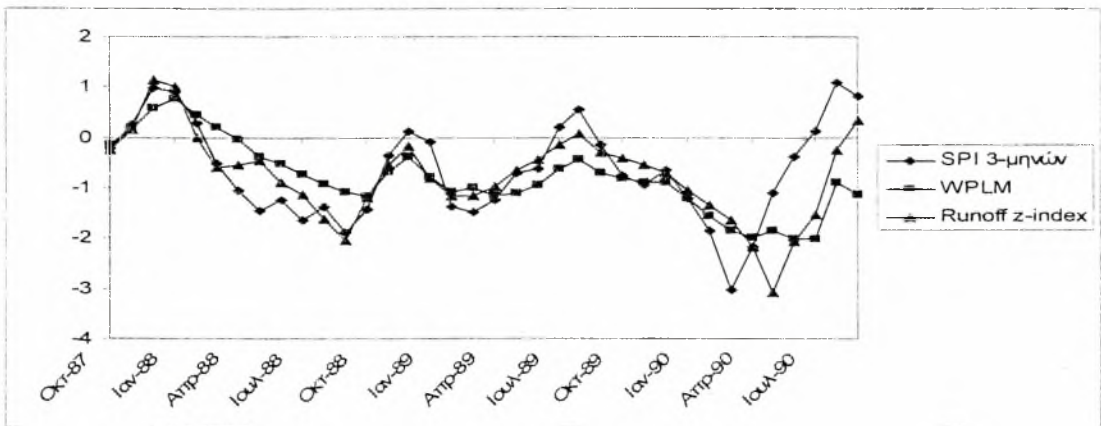
Σχήμα Δ23. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πάμισου. (2^η Περίοδος).



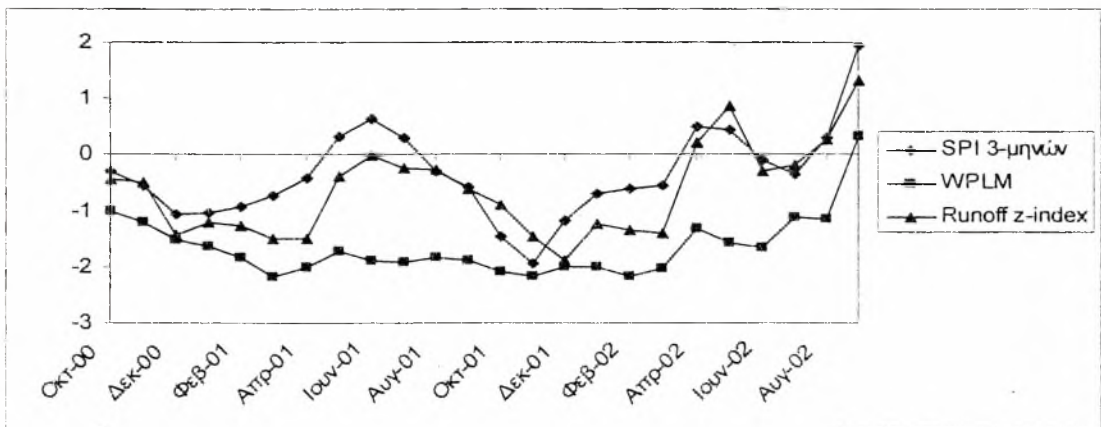
Σχήμα Δ24. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πάμισου. (3^η Περίοδος).



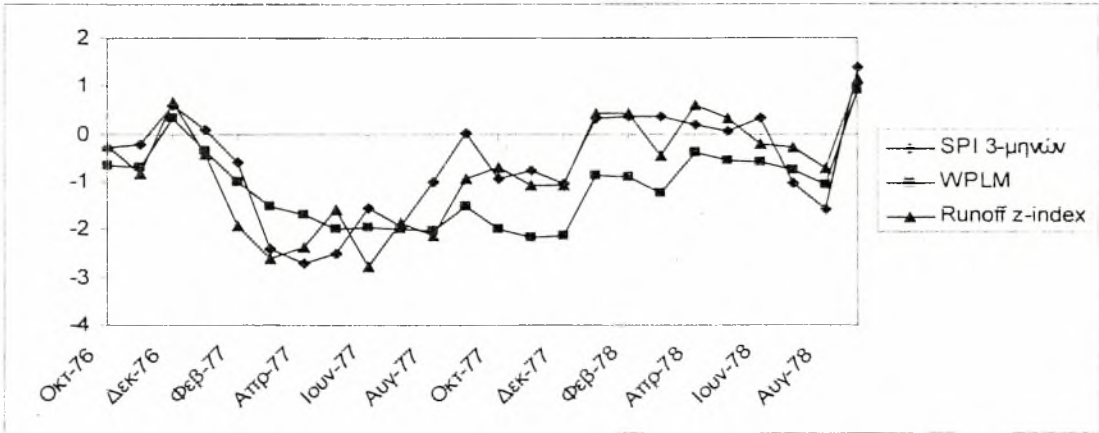
Σχήμα Δ25. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πηνειού. (1^η Περίοδος).



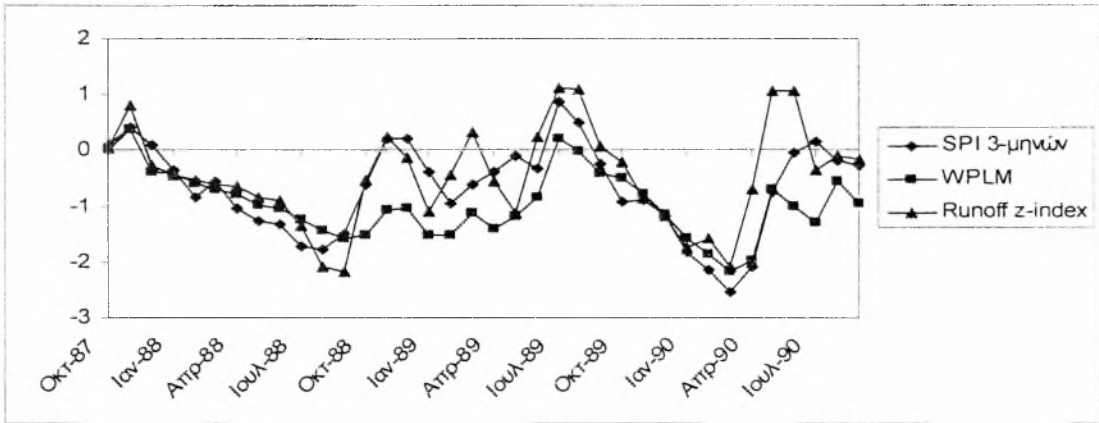
Σχήμα Δ26. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πηνειού. (2^η Περίοδος).



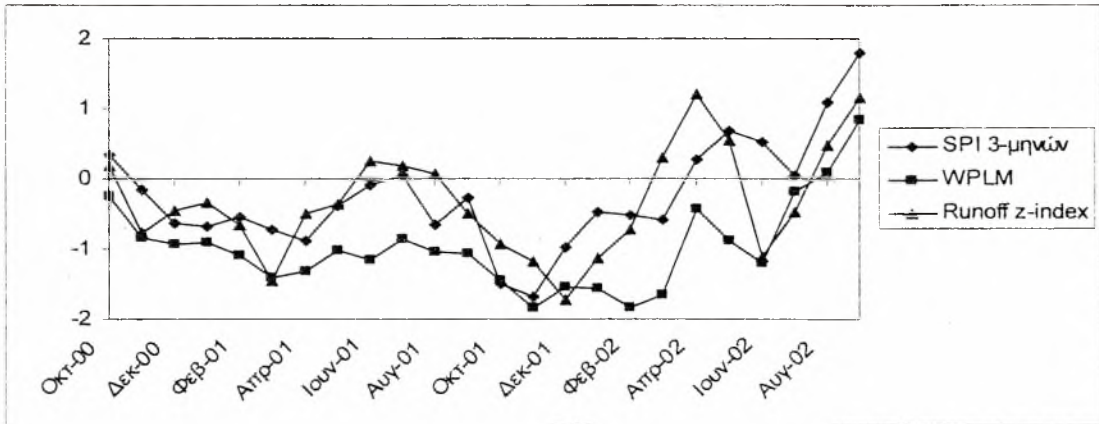
Σχήμα Δ27. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πηνειού. (3^η Περίοδος).



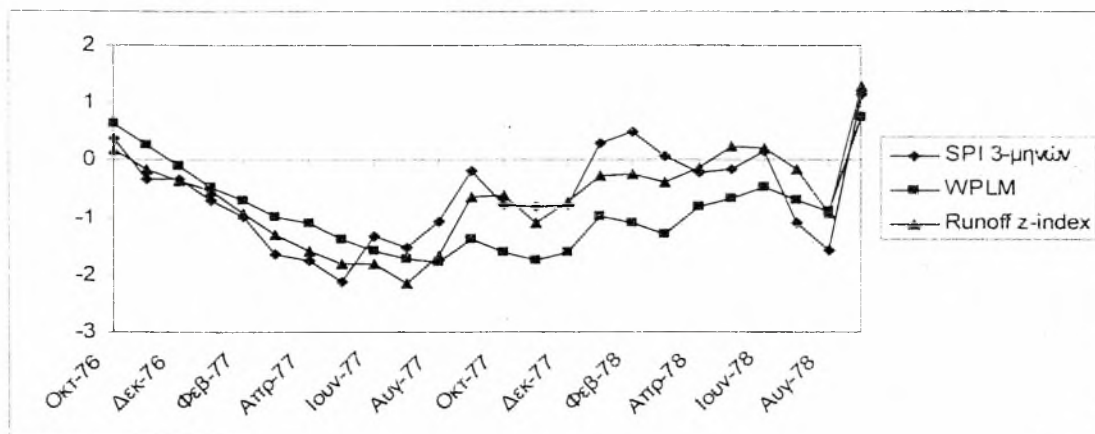
Σχήμα Δ31. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πορταϊκού. (1^η Περίοδος).



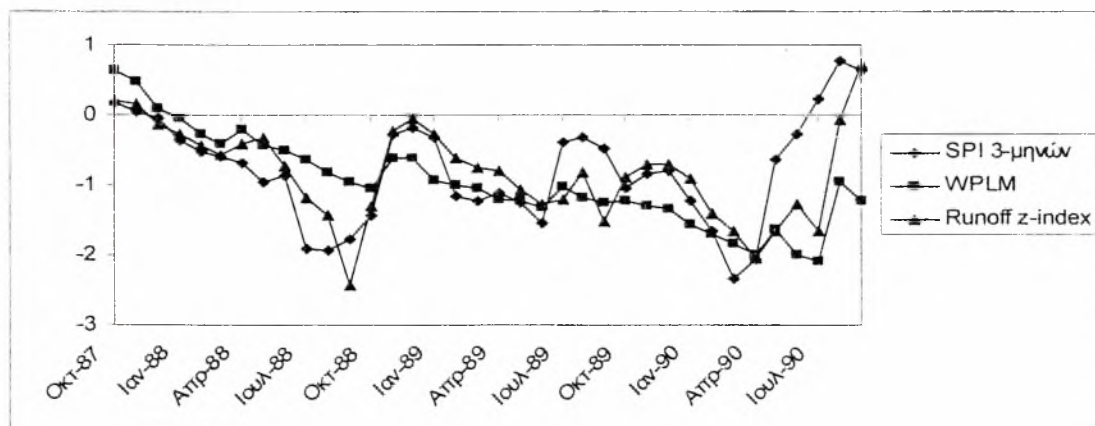
Σχήμα Δ32. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πορταϊκού. (2^η Περίοδος).



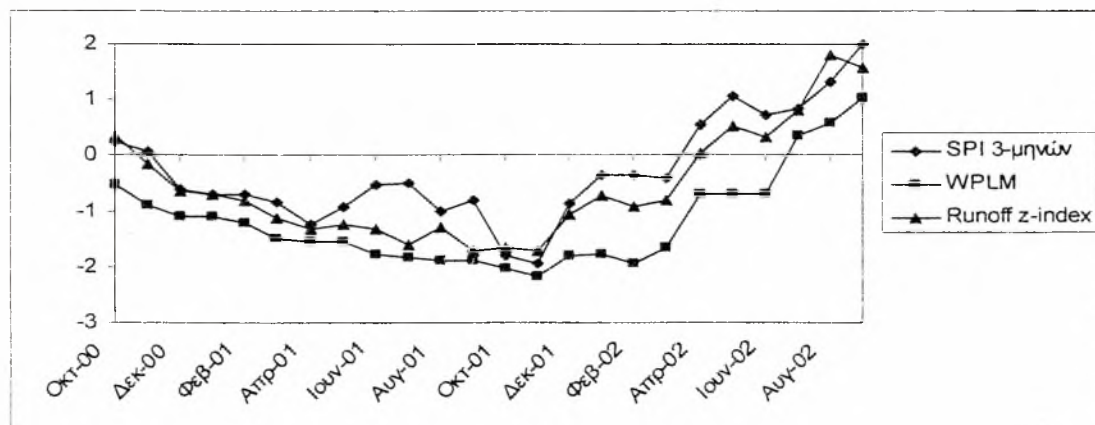
Σχήμα Δ33. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Πορταϊκού. (3^η Περίοδος).



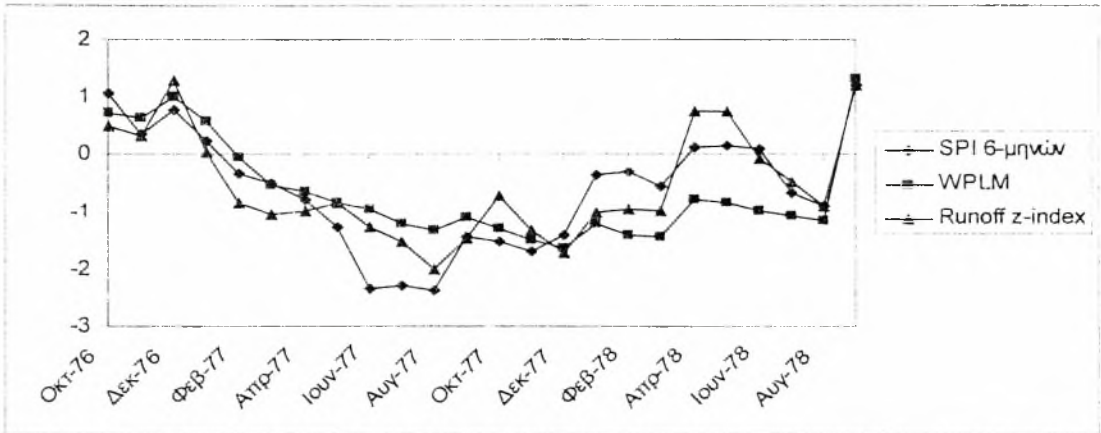
Σχήμα Δ37. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη της Θεόπετρας. (1^η Περίοδος).



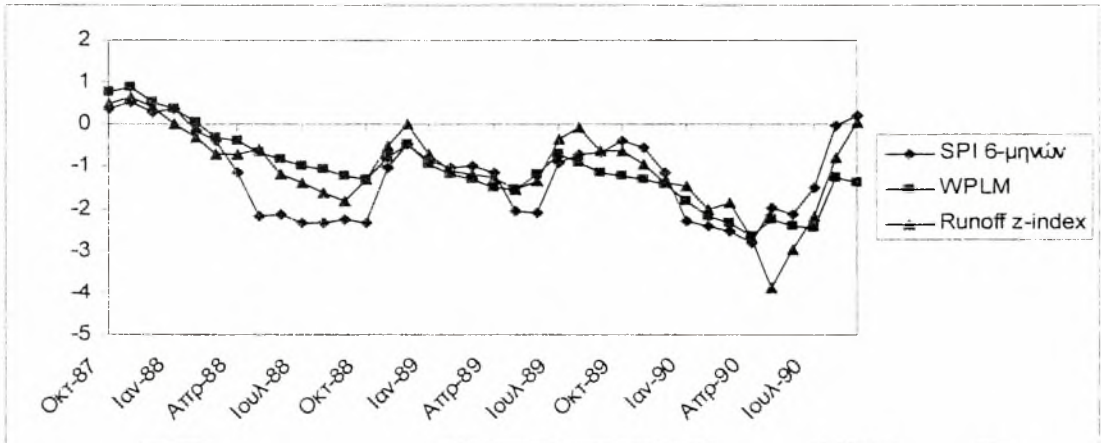
Σχήμα Δ38. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη της Θεόπετρας. (2^η Περίοδος).



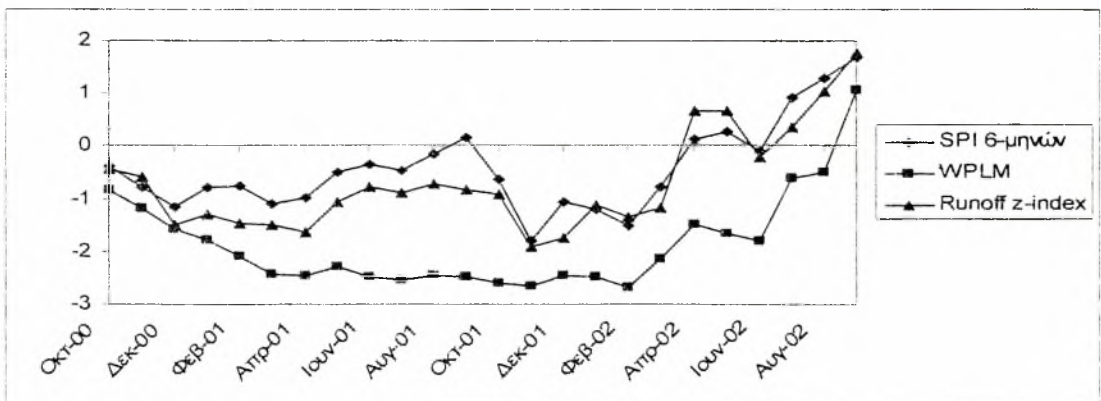
Σχήμα Δ39. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη της Θεόπετρας. (3^η Περίοδος).



Σχήμα Δ40. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Τιταρήσιου. (1^η Περίοδος).



Σχήμα Δ41. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Τιταρήσιου. (2^η Περίοδος).



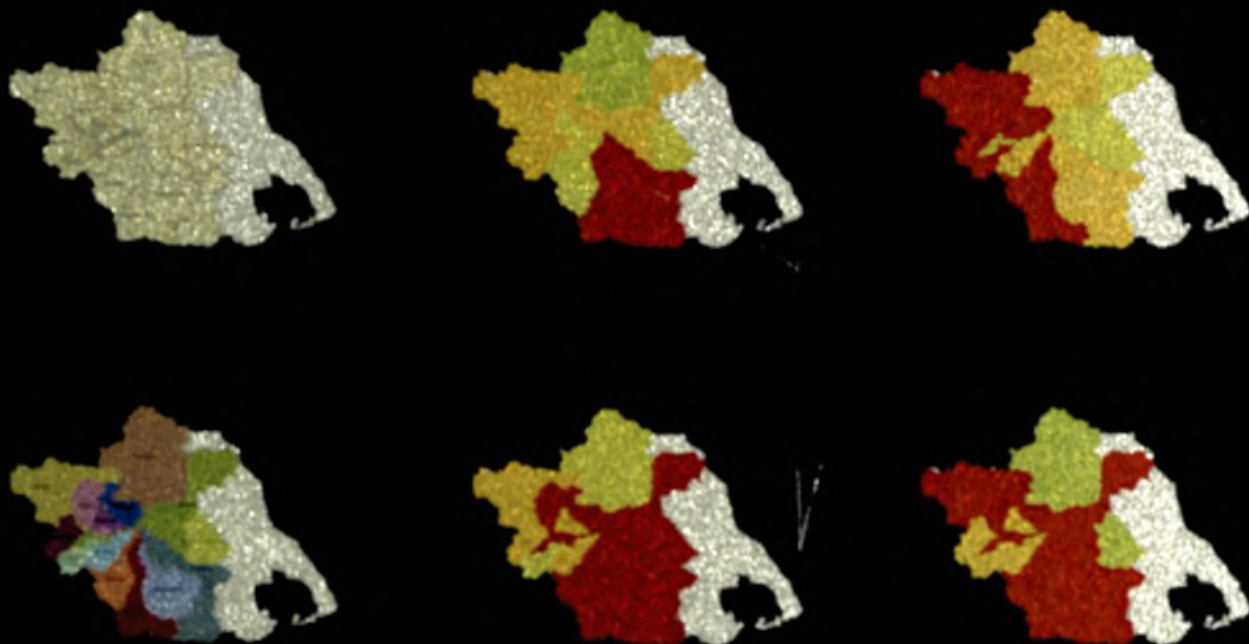
Σχήμα Δ42. Απόκριση των μετεωρολογικών δεικτών SPI, WPLM με τον δείκτη υδρολογικής ξηρασίας Z_{ij} στην υπολεκάνη του Τιταρήσιου. (3^η Περίοδος).



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004600091277



Η επιστημονική προσέγγιση του φαινομένου της ξηρασίας περιλαμβάνει διάφορες μεθοδολογίες ανάλυσης, που στηρίζονται σε διάφορες παραδοχές και ορισμούς. Η μελέτη του φαινομένου περιλαμβάνει τόσο την ανάλυση συχνότητων ελαχίστιων τιμών χαρακτηριστικών υδρολογικών μεταβλητών για μεγάλο χρονικό διάστημα, όσο και τον προσδιορισμό χαρακτηριστικών δεικτών που αποτελούν μέτρο ποσοτικής εκτίμησης της ξηρασίας.

